

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301      Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pevnostní a ekonomické ohodnocení použití nelegovaných a legovaných materiálů parních potrubí od návrhu po montáž pro strojovny s parní turbínou

Autor:                                    **Bc. Vít HUBÁLEK**  
Vedoucí práce:                        **Prof. RNDr. Josef VOLDRĚCH, CSc.**  
Odborný konzultant:                  **Ing. Jan NECKÁŘ**  
Odborný konzultant:                  **Štěpán HAVELA**

Akademický rok 2019/2020

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Vít HUBÁLEK</b>
Osobní číslo:	<b>S18N0020P</b>
Studijní program:	<b>N2301 Strojní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Stavba energetických strojů a zařízení</b>
Téma práce:	<b>Pevnostní a ekonomické ohodnocení použití nelegovaných a legovaných materiálů parních potrubí od návrhu po montáž pro strojovny s parní turbínou</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra energetických strojů a zařízení</b>

### Zásady pro vypracování

1. Analýzu provést pro materiály EN a ASME používaných na projektech DOOSAN SKODA POWER.
2. Rozsah potrubí DN 25-DN 250.
3. Konstrukční návrh provést v souladu s EN 13480-3, EN 10216-2, ASME B31.1 a BPVC II part D.
4. Do analýzy zohlednit rozdílnou pracnost svařování nelegovaných a legovaných materiálů.

V DSPW se používají potrubní třídy pro návrh potrubních systémů. Nelegovaný materiál se používá až do krajních mezí, i když je možné v hraničních oblastech použít nelegovaný i legovaný materiál.

Cíl: Nalezení vhodné technicko-ekonomické hranice použití legovaných materiálů pro potrubí.

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**  
Rozsah grafických prací: **grafy, 3D model potrubí v PDMS**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Interní materiály DSPW
- ČSN EN 13480-3: Kovové průmyslové potrubí – Část 3: Konstrukce a výpočet
- ASME B31.1 Power Piping, 2018
- Webové stránky: <https://www.ipotrubi.cz/>
- E-kniha JAK NA POTRUBÍ?

Vedoucí diplomové práce: **Prof. RNDr. Josef Voldřich, CSc.**  
Nové technologie – výzkumné centrum

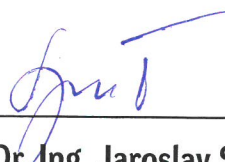
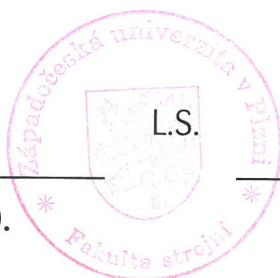
Konzultanti diplomové práce: **Ing. Jan Neckář**  
Doosan Škoda Power s.r.o.  
**Štěpán Havela**  
Doosan Škoda Power s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan



---


**Dr. Ing. Jaroslav Synáč**  
vedoucí katedry

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: 20.7.2020 .....

  
.....  
podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Hubálek	Jméno Vít	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2302T013 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Prof. RNDr. Voldřich, CSc.	Jméno Josef	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKE		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Pevnostní a ekonomické ohodnocení použití nelegovaných a legovaných materiálů parních potrubí od návrhu po montáž strojovny s parní turbínou		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKE	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	92	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	76	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	16
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce řeší vhodnost použití nízké, středně a vysoce legovaných ocelí pro potrubní trasy určené pro tlakové účely, konkrétně parní potrubí. Cílem této práce je vyhodnotit, zda-li je vhodnější a finančně výhodnější použít pro potrubní trasu levnější ocel s horšími mechanickými vlastnostmi a tím větší tloušťkou stěny potrubí nebo dražší ocel s lepšími mechanickými vlastnostmi a tím menší tloušťkou stěny potrubí. Návrh tloušťky stěny potrubí je stanoven podle norem EN a ASME. Do výsledné volby vhodné technicko-ekonomické hranice použití legovaných ocelí je zohledněna rovněž pracnost technologie svařování.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>pára, voda, oceli pro tlaková potrubí, DN 25 – DN 250, tlakoteplotní stupně, návrh tloušťky stěny tlakového potrubí, EN, ASME, pracnost svařování</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Hubálek	Name Vít	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2302T013 “ Design of Power Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Prof. RNDr. Voldřich, CSc.	Name Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKE		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Strength and economical evaluation of the application of unalloyed and alloyed steels from design of steam piping to assembly of engine rooms with steam turbine		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Power System Engineering	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	92	<b>TEXT PART</b>	76	<b>GRAPHICAL PART</b>	16
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Diploma thesis solve suitability of using unalloyed and alloyed steels for pressure piping with steam medium. Diploma thesis should solve the problem, whether it is cheaper and more suitable use cheap unalloyed steel with worse mechanical properties and greater wall thickness or use more expensive high alloyed steel with better mechanical properties and thinner wall thickness. The design of wall thickness is made for standards EN and ASME. Laboriousness of welding is calculated into the final result.
<b>KEY WORDS</b>	steam, water, steels for pressure piping, DN 25 – DN 250, pressure-temperature ratings, design of wall thickness for pressure piping, EN, ASME, laboriousness of welding

## **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce, panu Prof. RNDr. Josefu VOLDRĚCHOVI, CSc., za všechny užitečné rady, které pomohly k vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat jmenovitě pánům Ing. Janu NECKAŘI, Štěpánu HAVELOVI, Ing. Martinu POLÁKOVI a mnoha dalším zaměstnancům Doosan Škoda Power, kteří se mnou trávili mnoho času při řešení problémů a snažili se poskytovat maximum informací ze svého oboru.

Zároveň chci poděkovat celé své rodině a přátelům, kteří se mně snažili maximálně pomoci a podpořit mě v těch nejtěžších chvílích během celého studia a i při tvorbě této práce. Jsem jim velmi vděčný.

## Obsah

1	Přehled použitých veličin a zkratk	3
1.1	Veličiny	3
1.2	Zkratky	5
2	Úvod	6
3	Vlastnosti materiálů stanovených k posouzení	8
3.1	Maximální dovolená hodnota namáhání	9
3.2	Porovnání jednotlivých materiálů	10
3.2.1	Materiály P235GH a A106-A	10
3.2.2	Materiály P265GH a A106-B	10
3.2.3	Materiály 16Mo3, A335-P1 a A335-P11	11
3.2.4	Materiály 10CrMo9-10 a A335-P22	11
3.2.5	Materiály X10CrMoVNb9-1 a A335-P91	12
4	Potrubní třídy	13
4.1	Obecně	13
4.2	System značení potrubních tříd	15
4.3	Tlakoteplotní stupně	16
4.3.1	Tlakoteplotní stupně podle EN	16
4.3.2	Tlakoteplotní stupně podle ASME	19
4.3.3	Porovnání tlakoteplotních stupňů PN a CLASS	21
5	Teorie ke svařovací části	24
5.1	Definice svářečských předpisů	24
5.2	Metody technologie svařování	26
5.2.1	Metoda 111	26
5.2.2	Metoda 141	27
5.3	Svařovací polohy	27
5.4	Zajištění vzájemné polohy	27
5.5	Předehřev a tepelné zpracování ocelí během svařování	28
5.5.1	Předehřev a teplota interpass	29
5.5.2	PWHT – Tepelné zpracování po svařování a rychlost změny teploty	29
5.6	NDT - Nedestruktivní zkoušení obvodových svarů	30
6	Popsání výpočtové části	32
6.1	Výpočet tloušťky stěny potrubí	35
6.1.1	Teorie výpočtu tloušťky stěny potrubí podle EN	35
6.1.2	Provedení a shrnutí výpočtu tloušťky stěny podle EN	38
6.1.3	Teorie výpočtu tloušťky stěny potrubí podle ASME	41



6.1.4	Provedení a shrnutí výpočtu tloušťky stěny podle ASME .....	43
6.2	Ocenění pracnosti svařování .....	45
6.2.1	Objemové množství svarového spoje .....	46
6.2.2	Výpočet jednotlivých hodnot samostatného svařovacího procesu .....	47
6.2.3	Výpočet jednotlivých hodnot pomocných procesů svařování .....	49
6.2.4	NDT .....	50
6.3	Přepočítání výsledků na cenu za zhotovení potrubní trasy .....	51
6.3.1	Cena za 1 metr potrubí .....	51
6.3.2	Cena za svařování .....	53
6.3.3	Výsledná technicko-ekonomická hranice .....	58
7	Závěr .....	62
8	Zdroje .....	64
8.1	Tištěné zdroje .....	64
8.2	Internetové zdroje .....	65
9	Seznam obrázků .....	67
10	Seznam tabulek .....	69

# 1 Přehled použitých veličin a zkratk

## 1.1 Veličiny

$\alpha_V, \alpha_W$	[°]	rozměr při výpočtu velikosti svarového spoje
$\beta$	[°]	rozměr při výpočtu velikosti svarového spoje
$\varepsilon$	[mm]	přídavná tloušťka materiálu [16]
$\eta_t$	[-]	účinnost žhacího zařízení
$\rho_{oc}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota oceli
$\tau_i$	[min]	čas svařování jedné vrstvy bez pomocných operací
$\tau_{i-c}$	[min]	celkový čas svařování jedné vrstvy
$\tau_{i-p}$	[min]	čas svařování jedné vrstvy obsahující pouze pomocné operace
$A$	[mm]	přídavná tloušťka stěny potrubí [2]
$A_T$	[W]	výkon žhacího zařízení potřebný pro změnu teploty oceli při tepelném zpracování během svařování
$AKT_i$	[-]	aktivní čas z celkové doby svařování i-té vrstvy, kdy se pouze svařovalo
$b$	[mm]	rozměr při výpočtu velikosti svarového spoje
$b_{e-EN}$	[-]	bezpečnost konstrukce vzhledem k min. požadované tloušťce stěny potrubí při výpočtu podle [16]
$b_{p-ASME}$	[-]	bezpečnost konstrukce vzhledem k max. možnému přetlaku v potrubí po výrobě při výpočtu podle [2]
$b_{p-EN}$	[-]	bezpečnost konstrukce vzhledem k max. možnému přetlaku v potrubí po výrobě při výpočtu podle [16]
$b_{T-EN}$	[-]	bezpečnost konstrukce vzhledem k min. požadované tloušťce stěny potrubí po výrobě při výpočtu podle [16]
$b_{t-ASME}$	[-]	bezpečnost konstrukce vzhledem k min. požadované tloušťce stěny potrubí po výrobě při výpočtu podle [2]
$c_0$	[-]	korozní a erozní přídavek [16]
$c_1$	[mm]	absolutní hodnota záporné úchytky z normy materiálu [8]
$c_2$	[mm]	přídavek při zmenšení během výroby (ohyb, apod.) [8]
$c_p$	[kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita oceli
$D_0$	[mm]	vnější průměr potrubí [16]
$D_i$	[mm]	vnitřní průměr potrubí [16]
$E_i$	[kW·hod]	množství elektrické energie, která se spotřebuje pro svaření jedné vrstvy
$E_{i-c}$	[kW·hod]	celkové množství elektrické energie pro svaření jedné vrstvy
$E_{i-p}$	[kW·hod]	množství elektrické energie, která se spotřebuje při pomocných operacích svařování
$E_T$	[J]	teplo spotřebované pro změnu teploty oceli při tepelném zpracování během svařování
$E_{T-c}$	[kW·hod]	množství elektrické energie spotřebované pro změnu teploty oceli při tepelném zpracování během svařování
$e$	[mm]	rozměr při výpočtu množství svarového spoje
$e_{min}$	[mm]	minimální požadovaná tloušťka stěny potrubí při maximálním přetlaku i na konci životnosti [16]
$e_{ord}$	[mm]	objednávaná tloušťka potrubí podle EN [16]

$e_{skut}$ .....	[mm]	výpočtová tloušťka pro odolání přetlaku bez přídavků a úchylek [16]
$e_{st}$ .....	[mm]	objednávaná tloušťka potrubí podle ASME [3], [4]
$f$ .....	[MPa]	maximální dovolené napětí materiálu [12], [13], [16]
$f_{cr}$ .....	[MPa]	maximální dovolené napětí v oblasti tečení [12], [13], [16]
$f_t$ .....	[MPa]	maximální dovolené namáhání při teplotě [12], [13], [16]
$h$ .....	[mm]	rozměr při výpočtu velikosti svarového spoje
$I$ .....	[A]	proud při svařování
$k$ .....	[-]	součinitel tepelné účinnosti svařování, resp. účinnost přeměny elektrické energie do svařovacího tepla
$L$ .....	[mm]	délka svarového spoje
$m$ .....	[mm]	šířka jedné žihací dečky
$n_{i-hous}$ .....	[-]	počet housenek v jedné vrstvě
$P$ .....	[MPa(g)]	výpočtový vnitřní přetlak pro výpočet podle ASME [1], [2]
$P_{max}$ .....	[MPa(g)]	maximální vnitřní přetlak v přímém potrubí [2]
$P_r$ .....	[-]	tlakové označení CLASS dle ASME [1]
$PS$ .....	[MPa(g)], [bar(g)]	nejvyšší dovolený přetlak [12]
$p_c$ .....	[MPa(g)]	přetlak pro výpočet tloušťky stěny potrubí [12], [16]
$p_{c\_max}$ .....	[MPa(g)]	maximální možný přetlak působící v potrubí [16]
$p_{ca}$ .....	[psi(g)]	nejvyšší možný přetlak při výpočtu CLASS dle ASME [1]
$p_{st}$ .....	[psi(g)]	vypočítaný pracovní tlak pro danou teplotu [1]
$Q$ .....	[kJ·mm <sup>-1</sup> ]	vnesené teplo při svařování [9]
$Q_{plyn}$ .....	[l/hod]	průtočné množství ochranného plynu
$Q_{plyn-i}$ .....	[l]	množství ochranného plynu jedné vrstvy
$Q_{plyn-kořen-i}$ .....	[l]	množství ochranného plynu jedné vrstvy u kořene
$Q_{plyn-svar-i}$ .....	[l]	množství ochranného plynu jedné vrstvy pro svar
$R_{eHt}$ .....	[MPa]	minimální specifikovaná hodnota meze kluzu [16]
$R_m$ .....	[MPa]	mez pevnosti [16]
$S_l$ .....	[psi]	maximální dovolené namáhání daného materiálu [1]
$S_{RTt}$ .....	[MPa]	střední hodnota meze pevnosti při tečení [13], [16]
$SE$ .....	[MPa]	maximální dovolené namáhání materiálu [2], [6]
$Sf_{cr}$ .....	[-]	součinitel bezpečnosti závislý na čase používání [16]
$s$ .....	[mm]	rozměr při výpočtu velikosti svarového spoje
$T$ .....	[hod]	doba potřebná pro změnu teploty během svařování
$TS$ .....	[°C]	nejvyšší dovolená teplota [12]
$T_0$ .....	[mm]	minimální tloušťka stěny po výrobě
$T_{0min}$ .....	[mm]	minimální požadovaná tloušťka stěny po výrobě při maximálním přetlaku
$t$ .....	[mm]	tloušťka stěny potrubí při výpočtu množství svarového spoje
$t_{kon}$ .....	[°C]	koncová teplota tepelného zpracování
$t_m$ .....	[mm]	tloušťka stěny potrubí pro výpočet podle ASME [2]
$t_{min}$ .....	[mm]	minimální požadovaná tloušťka stěny potrubí po výrobě [2]
$t_{poč}$ .....	[°C]	počáteční teplota tepelného zpracování
$t_{sat}$ .....	[°C]	teplota 1. fázového přechodu
$U$ .....	[V]	napětí při svařování
$V_i$ .....	[mm <sup>3</sup> ]	objem jedné svarové vrstvy
$V_{i-1\_hous}$ .....	[mm <sup>3</sup> ]	objem jedné svarové housenky

$V_I$	[mm <sup>3</sup> ]	objem svarového spoje typu I
$V_V$	[mm <sup>3</sup> ]	objem svarového spoje typu V
$V_W$	[mm <sup>3</sup> ]	objem svarového spoje typu W
$V_{tr}$	[mm <sup>3</sup> ]	objem trubky vyžadující teplotní zpracování (předehřev, PWHT)
$v_i$	[mm·min <sup>-1</sup> ]	rychlost posuvu svařování [9]
$v_T$	[°C·hod <sup>-1</sup> ]	rychlost změny teploty během tepelného zpracování oceli během svařování (předehřev, PWHT)
$W$	[-]	korekce výpočtu pro svařované potrubí [2]
$w$	[-]	řídící tloušťka stěny [17]
$X_{ptkg}$	[PJ·kg <sup>-1</sup> ]	cena za 1 kilogram potrubí
$X_{ptm}$	[PJ·m <sup>-1</sup> ]	cena za 1 metr potrubí
$y$	[-]	korekce výpočtu tloušťky stěny potrubí podle ASME [2]
$z$	[-]	součinitel hodnoty spoje v podkapitole 6.1.1 [16], [18]
$z$	[mm]	rozměr při výpočtu množství svarového spoje v podkapitole 6.2.1

## 1.2 Zkratky

ASME	The American Society of Mechanical Engineers
AVEVA	AVEVA Group plc
BPWC	Boiler and Pressure Vessel Code
CLASS	označení tlakoteplotního stupně podle norem ASME vyjadřující kombinaci mechanických a rozměrových charakteristik potrubních systémů [1]
ČR	Česká republika
DN	Nominal diameter, česky Jmenovitá světlost
DSPW	Doosan Škoda Power s.r.o.
EN	European Standard
EU	European Union, česky Evropská unie
MT	Magnetic Particle Testing, česky zkoušení magnetickou práškovou metodou
NDT	Nondestructive testing, česky Nedestruktivní testování
PC	Svařovací poloha
PDMS	Plant Design Management System
PJ	Porovnávací jednotka
PN	Nominal Pressure, česky Jmenovitý tlak, resp. označení tlakoteplotního stupně podle norem EN vyjadřující kombinaci mechanických a rozměrových charakteristik potrubních systémů [12]
PQR	Procedure Qualification Record
PT	Penetrant Testing, česky kapilární zkoušení
PWHT	Post Weld Heat Treatment, česky tepelné zpracování po svařování
pWPS	Preliminary welding procedure specification
RT	Radiographic Testing, česky Radiografické zkoušení
UT	Ultrasonic Testing, česky Zkoušení ultrazvukem
VT	Visual Testing, česky Vizuální zkoušení
VTH	Vysokotlaká hydraulika
WPQR	Welding procedure Qualification Record
WPS	Welding procedure Specification

## 2 Úvod

Firma Doosan Škoda Power s.r.o., dále pod zkratkou DSPW, realizuje projekty výstavby nových nebo rekonstrukci starších elektrárenských celků turbínového ostrova s různým rozsahem dodávky. Jedná se o výstavby částí technologického celku nebo celého bloku. DSPW takto vypracovává zakázky nejen v České Republice, ale po celém světě. S tím souvisí i nutnost přizpůsobit se požadavkům zákazníka, který požaduje vypracování zadání podle různých zákonů a norem v závislosti na cílové destinaci. Konstrukteři a projektanti musí z toho důvodu používat různé normy nebo specifikace, které ačkoli pojednávají o stejných technologických celcích, odlišují se postupy a přístupem k řešení.

Cílem této práce bylo provést pevnostní a ekonomickou analýzu použití materiálů ve fázích od návrhu až po montáž parního potrubí, které používá firma DSPW ve svých projektech. Analýza byla provedena podle požadavků iniciátora této diplomové práce, strojního projektového oddělení DPSW, a to pro 11 různých rozměrů potrubí od DN 25 do DN 250.

Iniciátor této práce definoval materiály, kterými se má tato analýza zabývat. Jedná se o oceli nízko legované, středně legované a vysoce legované. Jednotlivé oceli byly vypsány v tabulce 3-1. V analýze byl kladen důraz na porovnání materiálů při nižších parametrech páry, za kterých je možné použít více možností. Bylo žádoucí nalézt optimální hranici použití nízko legovaných ocelí, jejichž použití bude nejméně pracné a zároveň finančně nejvýhodnější ve srovnání s více legovanými oceli.

Iniciátor této práce rovněž požadoval provést příklad pevnostního výpočtu přímého bezešvého potrubí podle norem EN a ASME, které jsou popsány v podkapitole 6.1. Výsledná tloušťka stěny byla použita k výpočtu ceny za 1 metr potrubí. Výpočtové parametry páry, tj. vnitřní přetlak vůči okolí a teplota, byly zadány pomocí tlakoteplotních stupňů, které jsou definovány normami EN a ASME. Z hodnot tlakoteplotních stupňů je možno vytvořit tzv. potrubní třídy. Ty se používají pro vytvoření skupiny jednotné tloušťky stěny potrubí, tvarovek a armatur se stejným provedením dimenzace jednotlivých dílů. Podrobněji o tomto problému pojednává kapitola 4.

Podmínkou analýzy bylo zohlednit pracnost svařování jednotlivých dílů přímého potrubí. Analýza byla provedena z hlediska norem EN, které jsou často využívány firmou DSPW v jejich projektech. Z tohoto důvodu byla v této práci v kapitole 5 uvedena stručná teorie ke svařování přímých kusů potrubí a proveden výpočet pracnosti svařování jednotlivých kusů za použití dat poskytnutých firmou DSPW. Ve výpočtu byla zohledněna cena za svarový kov, cena za spotřebované energie, cena za provedenou práci svářeče, cena za PWHT a cena za provedení NDT na příslušném počtu svarů. O provedení výpočtu pracnosti svařování pojednává podkapitola 6.2.

Výsledkem práce bylo vytvoření grafů, tzv. přehledových map, kdy na ose  $y$  je uvedena velikost vnitřního přetlaku média vůči okolí a na ose  $x$  je uvedena teplota média. Pro jednotlivé buňky byly zadány parametry vody na osách  $x$  a  $y$  a v nich bylo provedeno porovnání vhodnosti použití jednotlivých ocelí. Výslednou volbou pro zadané parametry byla ocel s celkově nejnižší cenou za zhotovení potrubní trasy složené z 30 metrů přímého bezešvého potrubí a 20 obvodových svarů.

Výsledky se lišily v závislosti na rozměru potrubí, výpočtové normě a destinaci projektu (vzhledem k ceně za svařování). Proto jsou v tištěné podobě této práce uvedeny přílohy, které zobrazují vhodnost použití materiálů pro různé rozměry potrubí (od DN 25 do DN 250).

V elektronické podobě této práce je možné nalézt přílohy, které obsahují přehledové mapy s průběžnými výsledky. Je tomu tak z důvodu lepší přehlednosti velkého množství dat.

Výpočtové soubory byly předány oddělení DSPW, které iniciovalo tuto práci, pro možnou změnu zadávacích parametrů a cen za zhotovení potrubní trasy pro vyhodnocení použití vhodného materiálu.

### 3 Vlastnosti materiálů stanovených k posouzení

Oceli nelegované i legované, k nimž byla provedena analýza, byly zvoleny na základě odborné konzultace s přihlédnutím k požadavkům iniciátora této práce, tj. DSPW. Tabulka 3-1 zobrazuje přehled ocelí, o kterých práce pojednává, s odpovídajícími ekvivalenty mezi jednotlivými normami. Ekvivalentem oceli A335-P11 je podle norem EN ocel 13CrMo4-5, avšak iniciátor této práce ji k posouzení nepožadoval, takže je v tabulce 3-1 označena třemi křížky. Níže je tabulka 3-2, která rozděluje oceli do skupin a podskupin pro svařovací část (více v podkapitole 5.1).

Číslo materiálu	Označení materiálu podle EN Bezešvé ocelové trubky pro tlakové účely [13]	Označení materiálu podle ASME Bezešvé feritické ocele pro potrubí pro vysokoteplotní účely [5]
1.0345	P235GH	A106-A
1.0425	P265GH	A106-B
1.5415	16Mo3	A335-P1
1.7335	XXX	A335-P11
1.7380	10CrMo9-10	A335-P22
1.4903	X10CrMoVNb9-1	A335-P91

Tabulka 3-1 - Oceli určené k posouzení v diplomové práci s odpovídajícími ekvivalenty mezi normami

Skupiny	Podskupiny	Druh oceli	EN materiál	ASME materiál
1		Ocel s minimální mezí kluzu $R_{eHt} \leq 460$ MPa a obsahem prvků v %: $C \leq 0,25$ ; $Si \leq 0,6$ ; $Mn \leq 1,7$ ; $Mo \leq 0,7$ ; $S \leq 0,045$ ; $P \leq 0,045$ ; $Cu \leq 0,4$ ; $Ni \leq 0,5$ ; $Cr \leq 0,3$ ; $Nb \leq 0,05$ ; $V \leq 0,12$ ; $Ti \leq 0,05$		
	1.1	Ocel se zaručenou mezí kluzu $R_{eHt} \leq 275$ MPa	P235GH	A106-A
			P265GH	A106-B
		16Mo3	A335-P1	
5		Cr-Mo oceli bez vanadu s $C \leq 0,35$		
	5.1	Oceli s $0,7\% \leq Cr \leq 1,5\%$ a $Mo \leq 0,7\%$		A335-P11
	5.2	Oceli s $1,5\% \leq Cr \leq 3,5\%$ a $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$	10CrMoV9-10	A335-P22
6		Oceli s vysokým obsahem vanadu, legované Cr-Mo-(Ni)		
	6.4	Oceli s $7,0\% \leq Cr \leq 12,5\%$ ; $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$ a $V \leq 0,35\%$	X10CrMoVNb9-1	A335-P91

Tabulka 3-2 - Rozdělení materiálů do svařovacích skupin podle normy TNI CEN ISO/TR 15608

Všechny materiály, které slouží k použití daného zařízení pro tlakové účely, jsou definovány příslušnými normami. Jednotlivé normy, tj. ČSN EN 1092-1, označena jako literatura [12], a norma ASME B16.34, označena jako literatura [1], udávají příslušné rozdělení materiálů do jednotlivých skupin podle způsobu využití v tlakové soustavě.

Po odborné konzultaci byla analýza zaměřena pouze na bezešvé potrubí. Norma ČSN EN 10216-2, označena jako literatura [13], definuje vlastnosti materiálu pro použití bezešvého ocelového potrubí pro tlakové účely. V normě [13] jsou dostupné chemické

vlastnosti materiálů, pevnostní hodnoty, vlastnosti za referenčních a zvýšených teplot a i oblasti teplot výrazného tečení materiálu. V normě [13] jsou rovněž uvedeny technologické údaje potřebné pro správnou aplikaci.

ASME BPVC II Part A, dále jako literatura [5], předepisuje definice a vlastnosti všech komponent pro tlakové účely podle norem ASME, mezi nimi také pro bezešvé potrubí. V literatuře [5] jsou uvedeny dostupné chemické vlastnosti materiálů, popisy technologických údajů a požadavků pro správné použití. Mechanické vlastnosti jsou popsány v normě ASME BPVC II Part D, dále jako literatura [6]. Ta předepisuje minimální pevnostní hodnoty jednotlivých materiálů.

### 3.1 Maximální dovolená hodnota namáhání

Hodnoty bezpečnosti vůči mezi kluzu a pevnosti pro potrubní trasy, které jsou určeny pro tlakové účely, jsou předepsány příslušnou výpočetní normou, tj. pro tuto práci ČSN EN 13480-3, dále jako literatura [16], v své kapitole číslo 5. Z výrazu (3.1) platí pro časově nezávislé namáhání feritické oceli vždy ta nejkonzervativnější hodnota. Pro časově závislé je ve stejné kapitole uveden výraz (3.2).

$$f_t = \min \left\{ \frac{R_{eHt}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} [MPa] \quad (3.1)$$

$$f_{cr} = \frac{S_{RTt}}{S_{f_{cr}}} [-] \quad (3.2)$$

Hodnota bezpečnosti  $S_{f_{cr}}$  se liší možností sledování vyčerpání tečení materiálu konstrukce a doby používání. Parní potrubí je při vysokých parametrech zaizolováno a sledování tečení je obtížné, ačkoli z důvodu bezpečnosti může být prováděno při plánovaných odstávkách. Způsoby sledování creepu jsou různé a jsou definovány například podnikovými nebo dnes už zaniklými oborovými normami. Jedním ze způsobů sledování tečení je například navaření definovaných nerezových návarků po obvodu proti sobě na předepsané části potrubí. Před uvedením do provozu a po určité době provozu jsou změřeny vzdálenosti mezi čely návarků. Měření je možno provádět i za provozu, avšak je nutné výsledky přepočítat na teplotu okolí. Vyhodnocuje se poměrná deformace a rychlost tečení.

I přes tuto možnost byla pro výpočet zvolena konzervativnější hodnota, tj. bez sledování vyčerpání tečení a s projektovou životností 200 000 hodin. Hodnota  $S_{f_{cr}}$  byla ve výpočtu rovna 1,5. Výsledné maximální dovolené napětí bylo určeno jako minimum z dovoleného napětí určeného z minimální smluvní meze kluzu za teploty a dovoleného napětí určeného z hodnot meze pevnosti při tečení v tahu. [13]

Maximální dovolená napětí při různých teplotách média jsou podle norem ASME konstruktérovi stanoveny normou [6]. Hodnoty zasahují i do oblasti výrazného tečení materiálu bez uvedení bezpečnosti oproti mezi pevnosti nebo mezi kluzu. Ze získaných hodnot z literatury [6] lze usuzovat, že pro bezešvé trubky za nízkých teplot je bezpečnost vůči mezi pevnosti rovna 3,5. Pevnostní předpisy maximálního dovoleného napětí materiálu norem ASME lze tedy považovat oproti normám EN za konzervativnější.

Vyžaduje-li konstruktér hodnotu maximálního dovoleného napětí mezi stanovenými teplotami, musí použít lineární interpolaci mezi dvěma nejbližšími sousedními body. Z tohoto důvodu lze použít pro grafy 3.1, 3.2, 3.3 lineární spojení mezi dvěma body.



## 3.2 Porovnání jednotlivých materiálů

V této podkapitole lze nalézt porovnání uvažovaných ocelí z hlediska chemického složení a maximálního dovoleného napětí. Zajímavé je, že hodnoty maximálního dovoleného napětí porovnávaných norem EN a ASME se liší v oblasti nižších pracovních teplot, nicméně v oblasti vyšších teplot, a to hlavně v oblasti výrazného tečení, vycházejí přibližně stejné hodnoty, viz grafy 3.1, 3.2, 3.3. Jelikož jsou vlastnosti materiálů pro konstruktéra podstatnější hlavně při vysokých parametrech páry, lze provést určité ekvivalentní připodobnění ocelí mezi jednotlivými normami, jak je uvedeno v tabulce 3-1.

### 3.2.1 Materiály P235GH a A106-A

Na základě odborné konzultace byly tyto oceli určeny jako ekvivalent norem EN a AMSE. Hodnoty maximálního dovoleného napětí jsou zobrazeny v grafu 3.1. Jedná se o nízko legované feritické oceli, kde vyšší pevnosti je dosahováno zvyšováním množství uhlíku. [25]

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
P235GH	≤ 0,16	≤ 1,20	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,35	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,30	≤ 0,02
A106-A	≤ 0,25	0,27-0,93	≤ 0,035	≤ 0,035	min 0,10	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,15	≤ 0,40	≤ 0,08

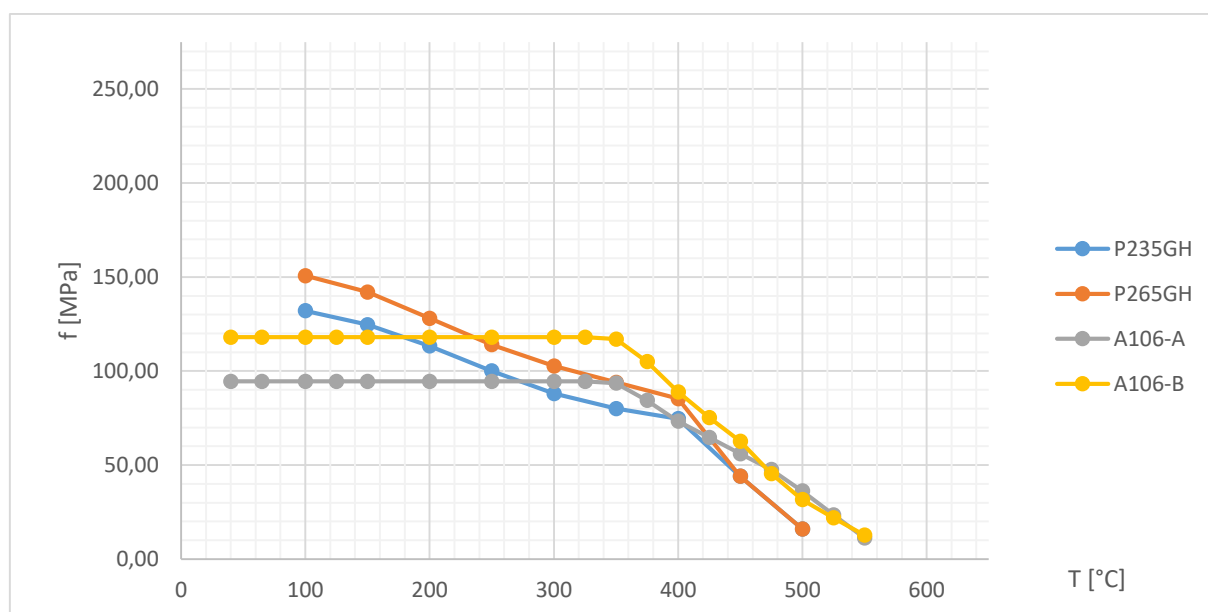
Tabulka 3-3 - Chemické složení materiálů P235GH [13] a A106-A [5]

### 3.2.2 Materiály P265GH a A106-B

Na základě odborné konzultace byly tyto oceli určeny jako ekvivalent mezi normami EN a AMSE. Hodnoty maximálního dovoleného napětí jsou zobrazeny v grafu 3.1. Jedná se o nízko legované feritické oceli, kde vyšší pevnosti je dosahováno zvyšováním množství uhlíku. [25]

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
P265GH	≤ 0,20	≤ 1,40	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,30	≤ 0,02
A106-B	≤ 0,30	0,29-1,06	≤ 0,035	≤ 0,035	min 0,10	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,15	≤ 0,40	≤ 0,08

Tabulka 3-4 - Chemické složení materiálů P265GH [13] a A106-B [5]



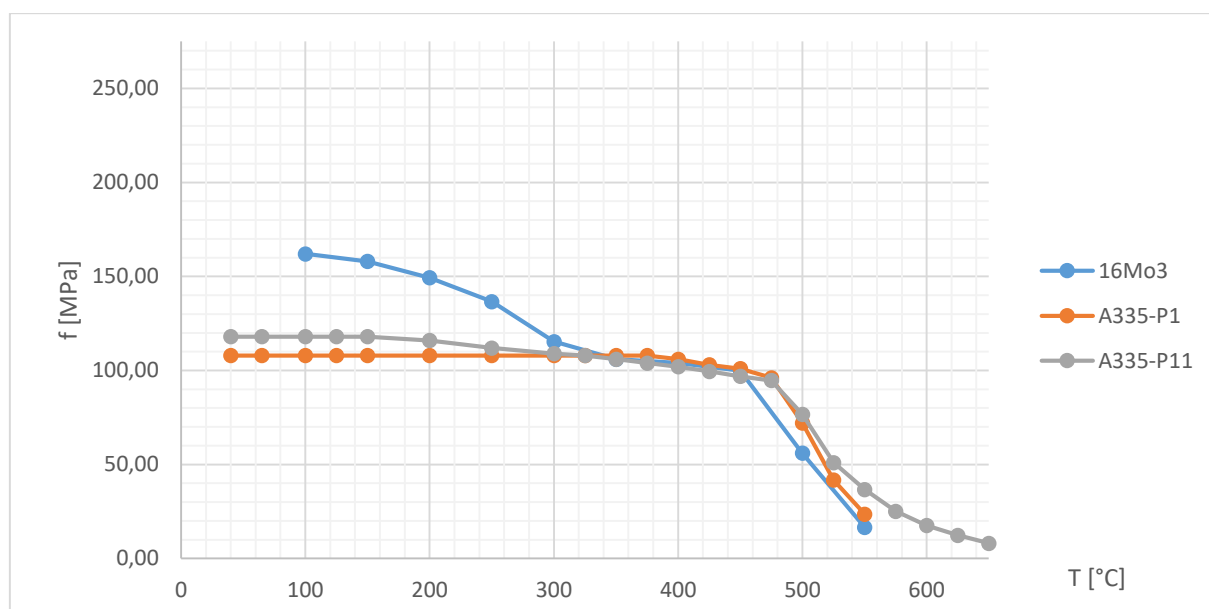
Graf 3.1 - Maximální dovolené napětí ocelí P235GH [13], P265GH [13], A106-A [6], A106-B [6]

### 3.2.3 Materiály 16Mo3, A335-P1 a A335-P11

Na základě odborné konzultace byly oceli 16Mo3 a A335-P1 určeny jako ekvivalent mezi normami EN a AMSE. Jedná se o nízko legované feritické oceli, kde vyšší pevnosti je dosahováno pomocí zvyšování množství uhlíku. A335-P11 je středně legovaná feritická ocel s vyšším obsahem chromu. [25] Hodnoty maximálního dovoleného napětí jsou zobrazeny v grafu 3.2. Nicméně ocel A335-P1 má malou dostupnost na trhu, takže po odborné konzultaci bylo určeno, že lze k problému přistupovat tak, že ekvivalent k EN oceli 16Mo3 je z hlediska mechanických vlastností norem ASME ocel A335-P11.

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
16Mo3	0,12-0,20	0,40-0,90	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,35	≤ 0,30	≤ 0,30	0,25-0,35	≤ 0,30	-
A335-P1	0,10-0,20	0,30-0,80	≤ 0,025	≤ 0,025	0,10-0,50	-	-	0,44-0,65	-	-
A335-P11	0,05-0,15	0,30-0,60	≤ 0,025	≤ 0,025	0,50-1,00	1,00-1,50	-	0,44-0,65	-	-

Tabulka 3-5 - Chemické složení materiálů 16Mo3 [13], A335-P11 [5] a A335-P11 [5]



Graf 3.2 - Maximální dovolené napětí ocelí 16Mo3 [13], A335-P1 [6], A335-P11 [6]

### 3.2.4 Materiály 10CrMo9-10 a A335-P22

Na základě odborné konzultace byly tyto oceli určeny jako ekvivalent mezi normami EN a AMSE. Hodnoty maximálního dovoleného napětí jsou zobrazeny v grafu 3.3. Jedná se o středně legované feritické oceli s vyšším obsahem chromu a molybdenu. [25]

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
10CrMo9-10	0,08-0,14	0,30-0,70	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,50	2,00-2,50	≤ 0,30	0,90-1,10	≤ 0,30	-
A335-P22	0,05-0,15	0,30-0,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,50	1,90-2,60	-	0,87-1,13	-	-

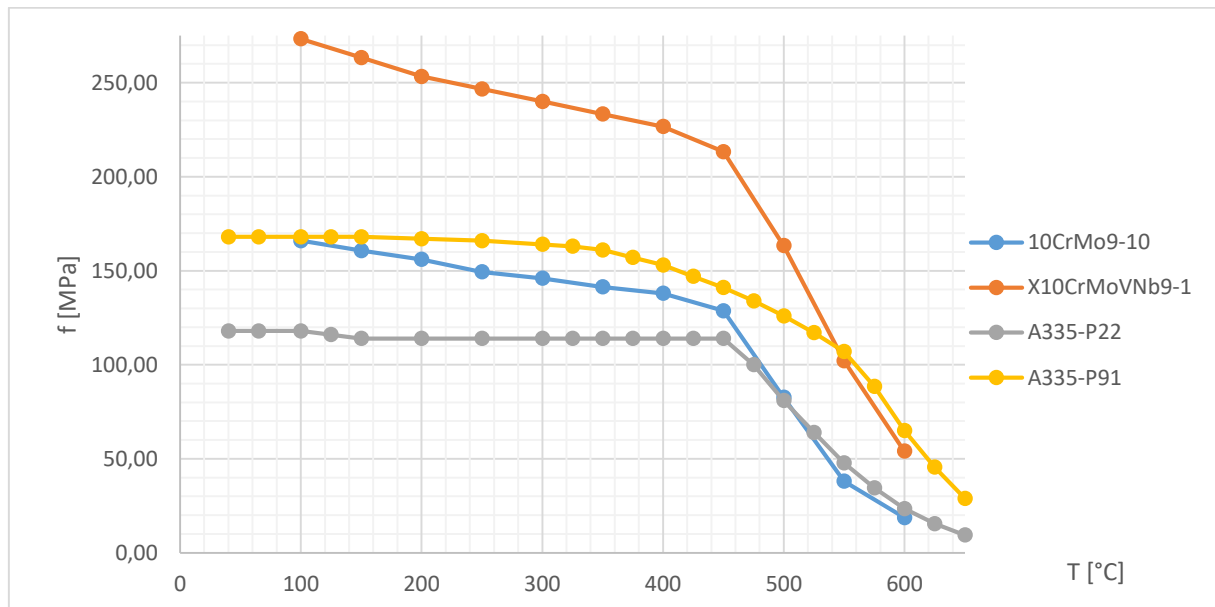
Tabulka 3-6 - Chemické složení materiálů 10CrMo9-10 [13] a A335-P22 [5]

### 3.2.5 Materiály X10CrMoVNb9-1 a A335-P91

Na základě odborné konzultace byly tyto oceli určeny jako ekvivalent mezi normami EN a AMSE. Hodnoty maximálního dovoleného napětí jsou zobrazeny v grafu 3.3. Jedná se o vysoce legované feritické oceli s vyšším obsahem chromu a molybdenu. [25]

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
X10CrMoVNb9-1	≤ 0,13	0,30-0,60	≤ 0,025	≤ 0,010	0,20-0,50	8,00-9,50	≤ 0,30	0,85-1,05	≤ 0,40	≤ 0,02
A335-P91	0,08-0,12	0,30-0,60	≤ 0,020	≤ 0,010	0,20-0,50	8,00-9,50	-	0,85-1,05	≤ 0,40	0,18-0,25

Tabulka 3-7 - Chemické složení materiálů X10CrMoNb9-1 [13] a A335-P91 [5]



Graf 3.3 - Maximální dovolené napětí ocelí 10CrMo9-10 [13], X10CrMoVNb9-1 [13], A335-P22 [6], A335-P91 [6]

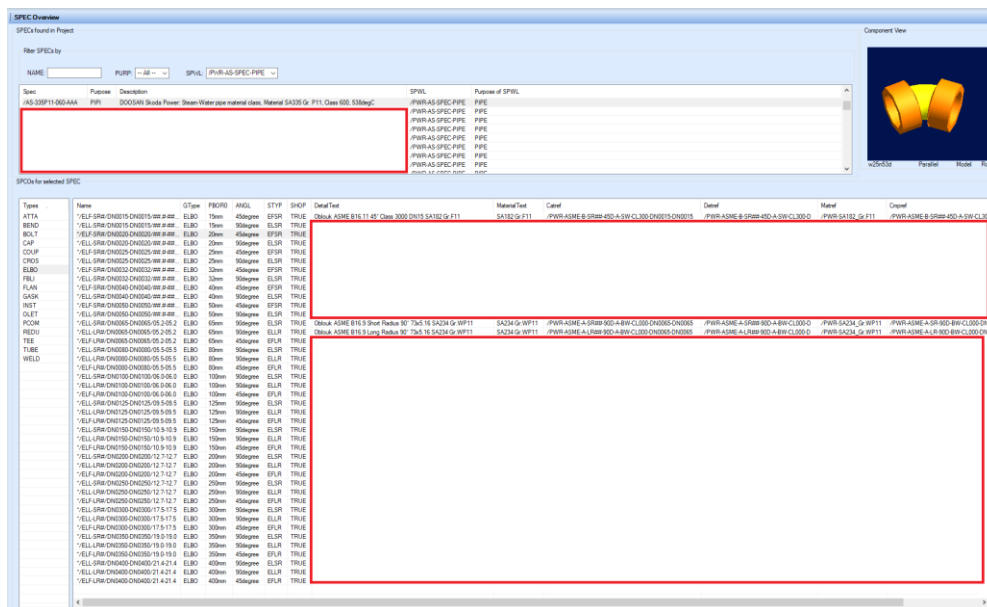
## 4 Potrubní třídy

### 4.1 Obecně

Potrubní třída je seskupení všech potrubních komponent, které jsou dimenzovány na určité zatížení (výpočtový vnitřní přetlak vůči okolí a výpočtová teplota). Každá potrubní třída používaná firmou DSPW obsahuje dimenzované:

- Přímé trubky bezešvé a svařované
- Trubkové oblouky (2D, 3D, 5D), (45°, 90°)
- Trubkové ohyby
- Redukce koncentrické a excentrické
- T-kusy se stejnými a s nestejnými hrdly
- Tlaková dna
- Hrdla
- Příruby (slepá, krková), apod.

Stanovení parametrů, které definují potrubní třídu, si určuje firma sama a není určena žádnou normou. Nicméně se využívá fakt, že výrobci jednotlivých komponent používají standardizované rozměry a komponenty jsou dimenzovány na určitou kombinaci fyzikálních podmínek (přetlak a teplota), tzv. tlakoteplotní stupně, o kterých je více pojednáno v podkapitole 4.3. Proto je snahou projektantů navrhnout podmínky použití potrubní třídy stejně. V případě, že by si projektanti samovolně volili nestandardizované rozměry potrubních komponent, došlo by k výraznému prodražení celé zakázky vzhledem k tomu, že by výrobce musel přeměnit svoji sériovou výrobu podle aktuální zakázky.



Obrázek 4-1 - Ukázka katalogu PDMS a značení potrubních třídy jednotlivých komponent

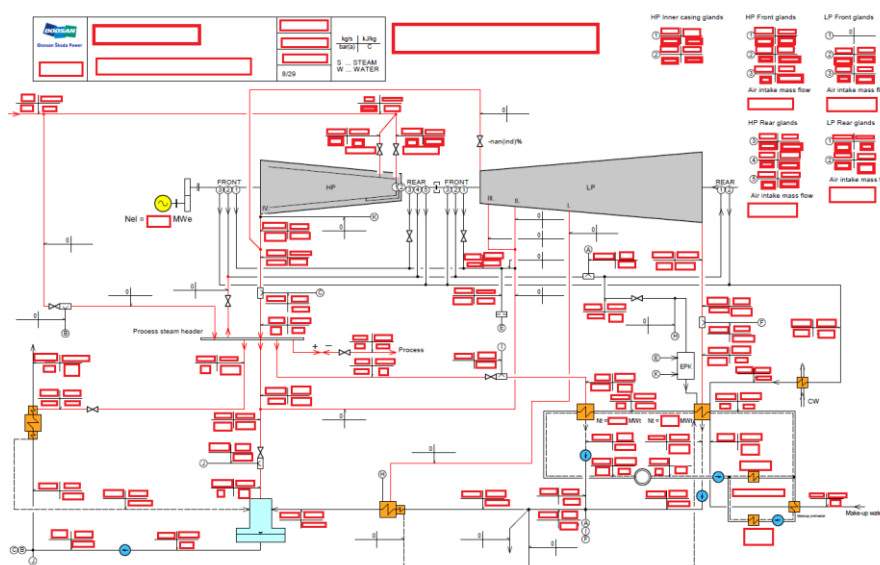
Jedním z důvodů, proč se dnes často používají pro potrubní trasy a dispoziční řešení technologického celku potrubní třídy, je existence 3D CAD programů, které jsou uzpůsobeny projekčním částem zakázky. Jedním z takových programů je například program *Plant Design Management System*, dále pod zkratkou PDMS, od společnosti AVEVA. Program PDMS je využíván v projekčním oddělení DSPW. Pomocí PDMS je možné rychle a přehledně vytvořit zadanou potrubní trasu i z pohledu dispozičního uspořádání. Program je schopen generovat

výkresovou dokumentaci, mezi kterou patří nejen jednotlivé výkresy tras, ale také například kusovníky pro poptávku. A právě z toho důvodu je výhodné mít už dopředu v rámci jedné potrubní třídy vypočteny a vymodelovány jednotlivé komponenty potrubí, které je poté projektant schopen rychle a efektivně vybírat, skládat za sebe a měnit v závislosti na funkčních a dispozičních požadavcích potrubní trasy, které jsou dle zadání strojního a stavebního oddělení.



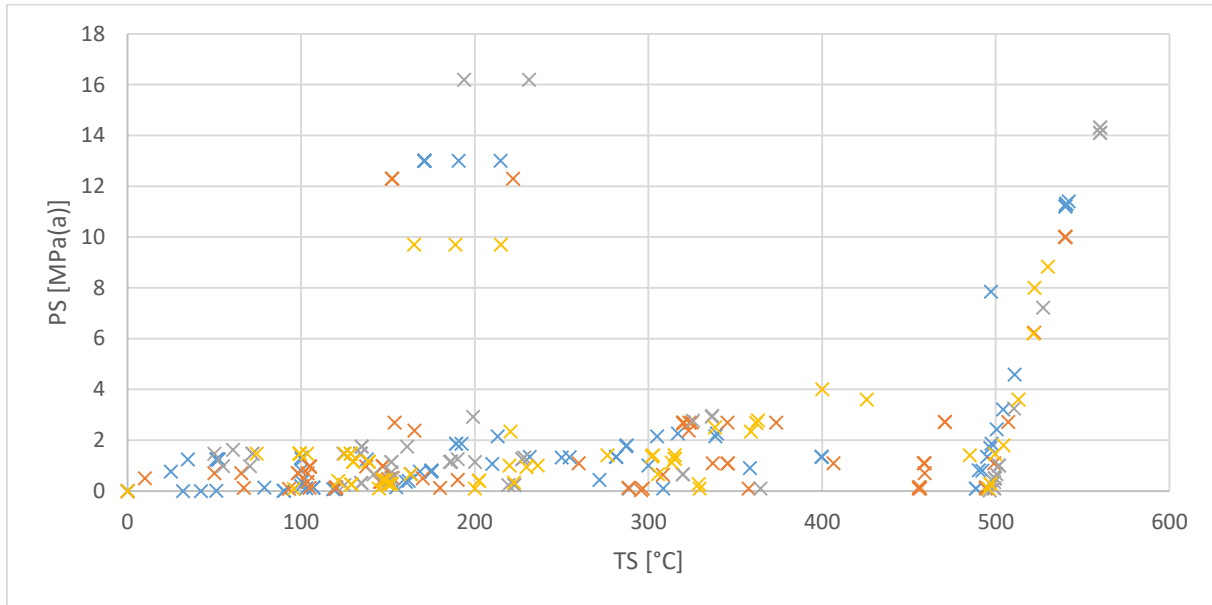
Obrázek 4-2 - Ukázka PDMS – chladiče mazacího oleje s příslušenstvím pro nejmenovaný projekt DSPW

Při navrhování potrubní trasy je postupováno tak, že každé trase je přiřazen materiál, ze kterého bude trasa vyrobena, a tlakoteplotní stupeň, který obsahuje výpočtové hodnoty páry (přetlak a teplota) nejbližší vyšší vzhledem k maximálním parametrům média, které mohou během provozu v daném systému nastat. Maximální parametry jsou například v rámci schémat pára-voda určeny pomocí bilančních schémat. Z materiálu a tlakoteplotního stupně je určena dané trase potrubní třída.



Obrázek 4-3 - Ukázka bilančního schématu pro nejmenovaný projekt DSPW

Zaměříme-li se na rozmezí možných parametrů páry potrubních tras používaných na projektech DSPW, zjišťujeme, že pokrývají široké rozmezí tlaků a teplot, jak je vidět na grafu 4.1, a to od nejnižších hodnot, které se rovnají okolnímu prostředí, až po ty nejvyšší hodnoty admisní páry přiváděné k rychlozávěrným a regulačním ventilům parní turbíny. Všechny tyto stavy jednotlivých tras potrubí mají společné, že jsou namáhány vnitřním přetlakem za zvýšených teplot vůči okolnímu prostředí.



Graf 4.1 - Ukázka nejvyšších parametrů parních a vodních tras pro 4 nejmenované projekty DSPW

Nejvyšší hodnoty pracovního přetlaku a teploty dosahuje admisní pára v potrubních trasách, které vedou ke vstupu do vysokotlaké části turbíny, popřípadě na ni napojené prohřívací nebo obtokové (by-pass) trasy hlavního parního potrubí.

Vzhledem k následné expanzi páry v turbíně nejsou potrubní trasy na výstupu z turbíny namáhány příliš vysokým vnitřním přetlakem. Nicméně vzhledem k možnému přehřívání páry z důvodu zvýšení efektivity celého cyklu elektrárny může dojít k opětovnému zvýšení teploty média na parametry teploty podobné admisní páře.

Některé potrubní trasy mohou pracovat s parametry páry, které jsou nižší než okolní prostředí. Tyto potrubní trasy jsou namáhány vnitřním podtlakem, resp. vnějším přetlakem. Možným napětovým rozložením, deformací potrubí a možnou potřebnou dimenzací se tato práce nezabývá. Pro tyto parametry páry se předpokládá schopnost konstrukce pohybovat se ve vhodných napětových a deformačních hodnotách při zadaných výpočtových hodnotách nejnižšího vnitřního přetlaku a teploty okolí.

## 4.2 Systém značení potrubních tříd

Způsobů, jak značit danou potrubní třídu, je mnoho. Záleží na dané firmě, jakým způsobem toto značení provede. Obvykle název obsahuje tyto údaje.

- Řadu norem, podle kterých byla potrubní třída vytvořena.
  - V případě potrubních tříd, které jsou stanoveny DSPW, se jedná o normy EN a ASME.
- Označení konkrétního materiálu podle značení EN a ASME.
- Hodnota tlakoteplotního stupně.

- V případě EN se jedná o velikost PN.
- V případě ASME se jedná o hodnotu CLASS.
- Rozsah rozměrů DN, pro který je daná potrubní třída stanovena.
- Označení, které vyjadřuje, jaké médium může proudit v daném systému. V případě projektů DSPW:
  - pára (parovodní směs)
  - napájecí voda
  - vzduch nebo parovzdušná směs
  - mazací olej
  - vysokotlaký olej pro obsluhu VTH
- Další znaky upřesňující použití potrubní třídy, určité zvláštnosti, které obsahuje:
  - teplotní omezení
  - mezitřída mezi tlakoteplotními stupni
  - korozní a erozní přídavek
  - specifikace typu tloušťky materiálu

### 4.3 Tlakoteplotní stupně

Rozdělení tlakoteplotních stupňů pro jednotlivé materiály je vždy určeno příslušnou normou EN nebo ASME. Důvodem zavedení tlakoteplotních stupňů je snaha vytvořit takovou skupinu parametrů přetlaku a teploty média pro potrubní trasy, při kterých budou jednotlivé části potrubí dimenzovány na stejné rozměry, např. stejnou tloušťku stěny, aby bylo vytvořeno stejné namáhání v celém rozsahu pracovních teplot. Jednotná velikost rozměrů pro každý stupeň umožňuje sériově vyrábět, a tím zlevňovat výrobu.

Výhodou je, že pokud na technologickém celku nastanou neprovozní stavy s nižší teplotou, ale se jmenovitým tlakem (např. najížděcí nebo odstavovací procesy), je daná komponenta předimenzována vůči pracovním parametrům. Děje se tak z důvodu toho, že za nižších teplot má komponenta vždy vyšší pevnost, resp. by ji za těchto neprovozních podmínek stačila menší tloušťka stěny, díky čemuž stoupá bezpečnost součásti. Provozy s vyšším tlakem obvykle nenastávají a pokud ano, jsou jištěny přepouštěcími nebo pojistnými ventily.

#### 4.3.1 Tlakoteplotní stupně podle EN

Norma [12] stanovuje typy jednotlivých přírub, v detailu pak jejich plochy, rozměry, konstrukční řešení, apod. Dále pak stanovuje tlakoteplotní stupně pro jednotlivé materiály přírub, které je možné vztáhnout i na celé potrubní trasy.

Označení jednoho typu tlakoteplotního stupně je s předponou PN. Pro každou skupinu materiálů jsou pak přiřazeny nejvyšší dovolené vnitřní přetlaky, označeny jako PS, při nejvyšší dovolené teplotě, označeny jako TS.

Přesný výpočet a použití nejvyšších možných hodnot PS pro jednotlivá PN a TS je uvedeno ve zdroji [12] v přílohách F a G. Norma [12] definuje 12 základních stupňů PN.

PN 2,5 ; PN 6 ; PN 10 ; PN 16 ; PN 25 ; PN 40 ; PN 63 ;

PN 100 ; PN 160 ; PN 250 ; PN 320 ; PN 400

Uživateli normy je umožněno vytvořit si vlastní stupeň PN za podmínky dodržení výrazů (4.1) a (4.2), které jsou definovány v normě [12] v příloze F.

$$PS \leq PN \quad (4.1)$$

$$PS = PN \cdot \frac{\min\{f_t; f_{CR}\}}{140} \quad [MPa] \quad (4.2)$$

Výraz (4.1) definuje maximální možnou hodnotu PS. Výraz (4.2) definuje výpočet hodnoty PS pro materiály, který mají časově proměnnou hodnotu maximálního dovoleného namáhání. Definici výpočtu  $f_t$  a  $f_{CR}$  je možno nalézt v literatuře [12] v odstavci F-2-5 a v literatuře [16] v kapitole 5. Blíže je o jejich stanovení pojednáno v podkapitole 3.1.

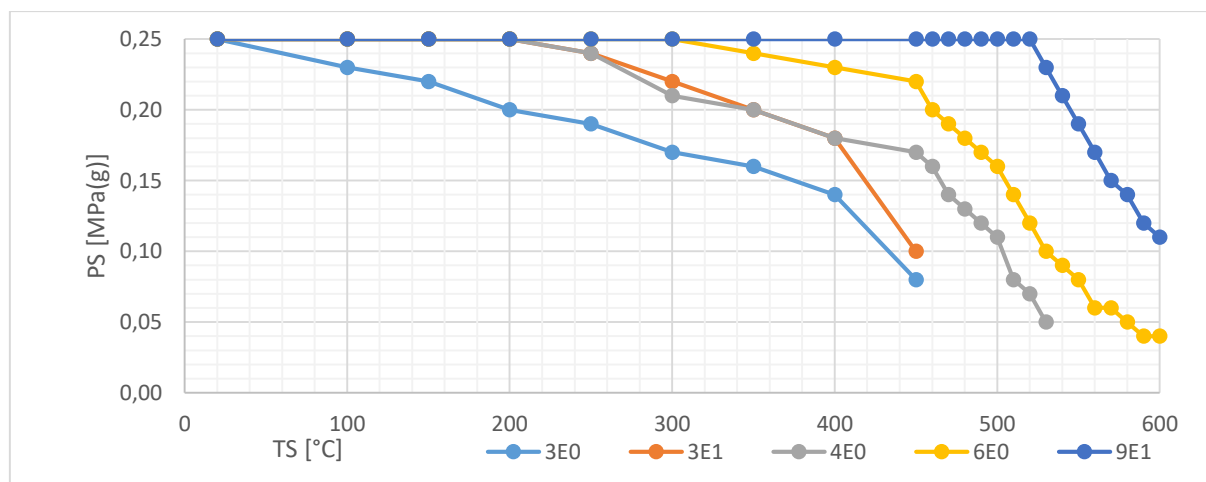
Z výrazů (4.1) a (4.2) lze předpokládat, že při teplotách blízkých okolnímu prostředí, tj. 20 °C, bude hodnota PS rovna PN. Se stoupající teplotou bude pevnost materiálu pravděpodobně klesat, při vysokých teplotách bude dokonce docházet ke creepu a dojde k razantnímu poklesu hodnoty PS daného tlakoteplotního stupně.

Hodnoty PS jsou stanoveny pro vybrané materiály v literatuře [12] v kapitole G a jsou zobrazeny vlevo v tabulce 4-1. Materiály jsou rozděleny do skupin podle podobných mechanických vlastností a chemického složení. Levá část tabulky 4-1 obsahuje výtažek z tohoto zdroje, kdy většina označených materiálů se používá jako ocelové výkovky určené pro tlakové nádoby. Technologie výroby bezešvého potrubí se liší od tlakových nádob. Z tohoto důvodu dochází k rozdílnému označení materiálu, který však svými podobnými vlastnostmi vytváří jednu skupinu.

Skupina	Číslo materiálu	Označení materiálu podle EN	Číslo materiálu	Označení materiálu podle EN
3E0	1.0352	P245GH	1.0345	P235GH
3E1	1.0426	P280GH	1.0425	P265GH
4E0	1.5415	16Mo3	1.5415	16Mo3
6E0	1.7383	11CrMo9-10	1.7380	10CrMo9-10
9E1	1.4903	X10CrMoVNb9-1	1.4903	X10CrMoVNb9-1

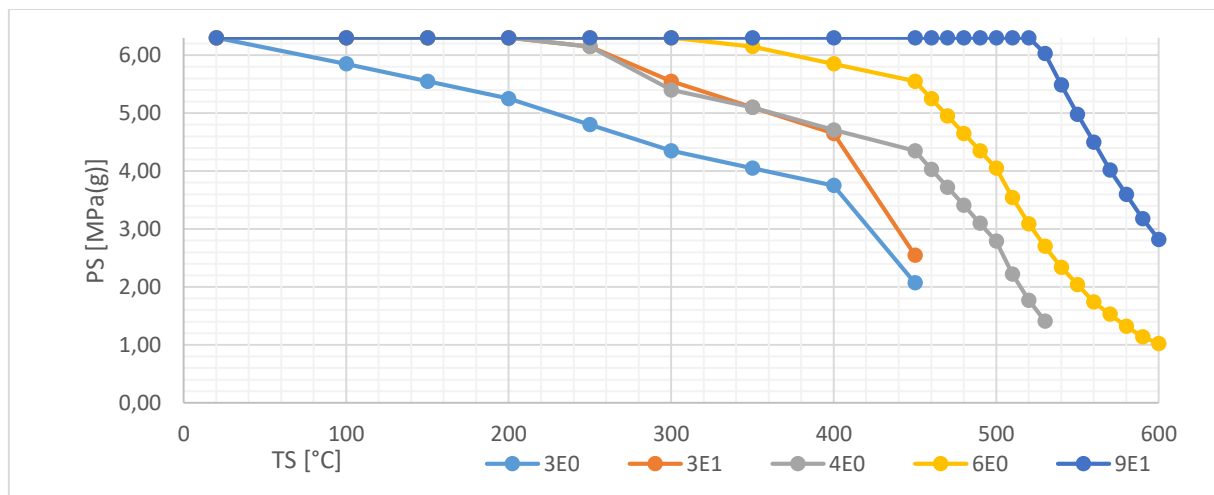
Tabulka 4-1 - Rozdělení feritických materiálů pro tlakoteplotní stupně dle normy ČSN EN 1092-1

Literatura [12] definuje pro jednotlivé tlakoteplotní stupně pouze několik teplot s příslušnými přetlaky. Potřebuje-li konstruktér vypočítat hodnotu mezi dvěma teplotami, dopočítává hodnotu přetlaku pomocí lineární interpolace. Z toho důvodu lze použít pro grafy 4.3 a 4.4 lineární spojení mezi dvěma body.

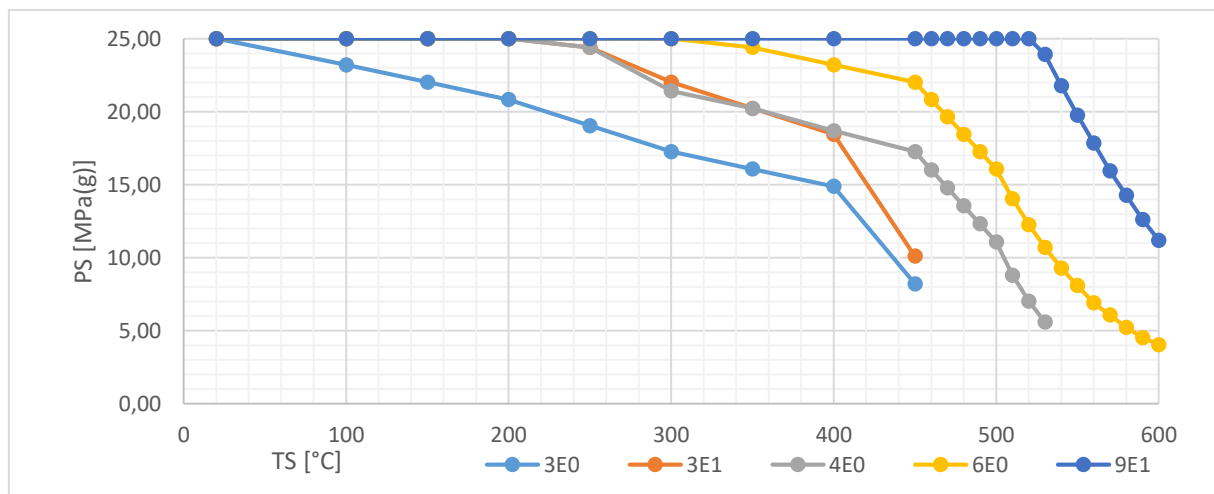


Graf 4.2 - Graf tlakoteplotních stupňů pro PN 2,5 podle ČSN EN 1092-1





Graf 4.3 - Graf tlakoteplotních stupňů pro PN 63 podle ČSN EN 1092-1



Graf 4.4 - Graf tlakoteplotních stupňů pro PN 250 podle ČSN EN 1092-1

Z grafů 4.3 a 4.4 je možno pozorovat, že platí výrazy (4.1) a (4.2) pro stanovení PS jednotlivých tlakoteplotních stupňů a že se hodnoty pro různé tlakoteplotní stupně liší pouze poměrově. Z toho plyne, že chce-li konstruktér nebo projektant navrhnout určitou mezitřídou tlakoteplotních stupňů PN, může využít hodnoty z tabulek normy [12] v kapitole G nebo využít výrazy (4.1) a (4.2). Jediným nepatrným rozdílem je tlakoteplotní stupeň PN 2,5, který je zobrazen v grafu 4.2.

Literatura [12] dále obsahuje pro jedno TS různé hodnoty PS v závislosti na tloušťce stěny tlakového zařízení, kdy rozdílová hodnota je od 50 mm. Vzhledem k normalizovaným tloušťkám potrubí a rozsahu této práce není tato skutečnost relevantní.

Vzhledem k tomu, že tlakoteplotní stupně jsou odvozeny z pevnostních vlastností materiálů za měnící se teploty a platí mezi nimi téměř lineární úměra, je možné vyvodit, že tloušťka jednotlivých komponent bude vycházet přibližně rovna pro stejnou potrubní třídu, a to z důvodu toho, že s rostoucí teplotou sice klesá pevnost, ale klesá i předepsané tlakové zatížení. To je důvodem vytvoření tlakoteplotních stupňů, jejichž snahou je definovat potřebnou tloušťku stěny potrubí a výslednou bezpečnost konstrukce relativně konstantní.

### 4.3.2 Tlakoteplotní stupně podle ASME

Literatura [1] rozděluje tlakoteplotní stupně podle ASME. Stanovuje obecné předpisy pro konstrukci nových ventilů, předepisuje dimenze, rozdělení materiálů do skupin podle chemického složení a typu použití a také definuje tlakoteplotní stupně pro použití v ASME normách, tzv. CLASS.

Literatura [1] definuje 8 základních tlakoteplotních stupňů.

CLASS 150 ; CLASS 300 ; CLASS 400 ; CLASS 600 ; CLASS 900;

CLASS 1500 ; CLASS 2500 ; CLASS 4500

Podobně jako norma [12] definuje norma [1] nejen předepsané CLASS, ale dává konstruktérovi možnost vytvořit si samostatný stupeň CLASS. Přitom musí dodržovat postup podle normy [1] přílohy F. Ta popisuje celou řadu doplňkových údajů pro použití a upřesnění výpočtu. Rovnice (4.3) je zde pouze pro představu, jak se tento výpočet tvoří pro tlakoteplotní stupně.

Jelikož se jedná o americké normy, je nutné počítat s variantou, že hodnoty nemusí být v jednotkách SI a je nutné je převést.

$$p_{st} = \frac{S_1}{8750} \cdot P_r \leq p_{ca} [psi(g)] \quad (4.3)$$

Podobně jako v podkapitole 4.3.1 lze z výrazu (4.3) vyvozovat, že se stoupající teplotou bude hodnota přetlaku v potrubí daného tlakoteplotního stupně klesat. Stejně jako pro tlakoteplotní stupně PN platí i zde pro CLASS, že hodnoty maximálního vnitřního přetlaku pro stejnou CLASS se liší pro různé materiály.

Literatura [1] definuje maximální možný přetlak v systému při dané teplotě  $p_{ca}$ , který ovšem s narůstající teplotou klesá. Hodnoty  $p_{ca}$  jsou předepsány v normě [1] v kapitole 4.

Literatura [1] upřesňuje rozdělení materiálů do skupin podle účelu použití a chemického složení. Tabulka 4-2 obsahuje výtazek pro oceli, ke kterým se vztahuje tato práce. Zvýrazněná část obsahuje specifikaci materiálu, který v rozdělení není přesně definován. Na základě odborné konzultace byl přiřazen do příslušné skupiny.

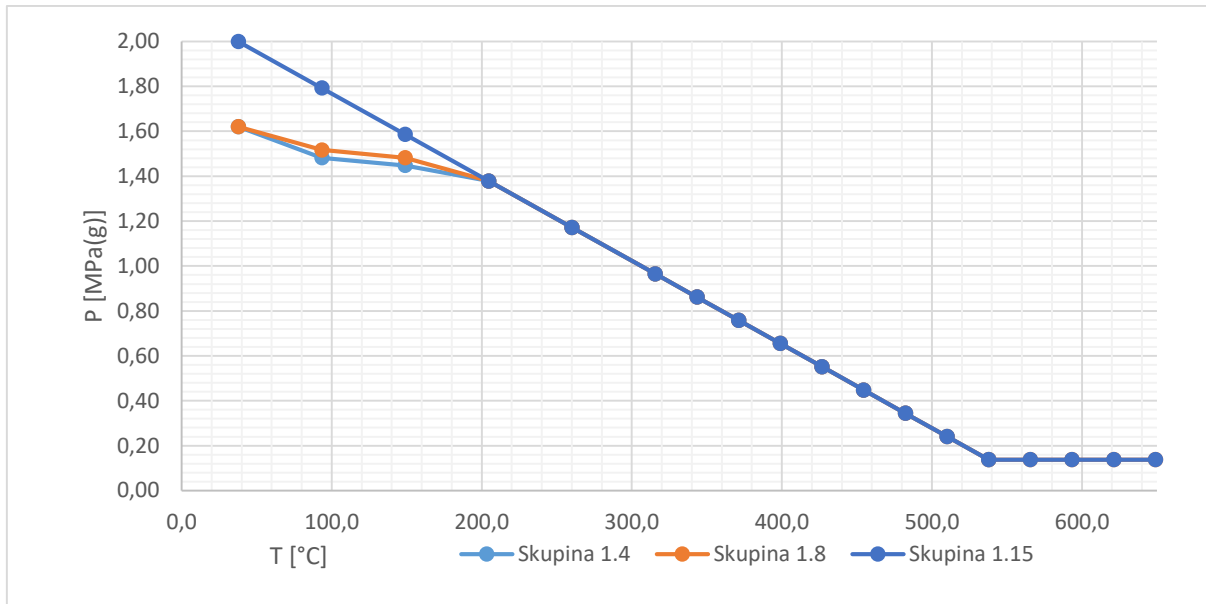
Číslo skupiny	Číslo specifikace	Typ
1.4	A106	A
1.4	A106	B
1.6	A335	P1
1.8	A335	P11
1.8	A335	P22
1.15	A335	P91

Tabulka 4-2 - Rozdělení materiálů pro tlakoteplotní stupně dle normy B16.34

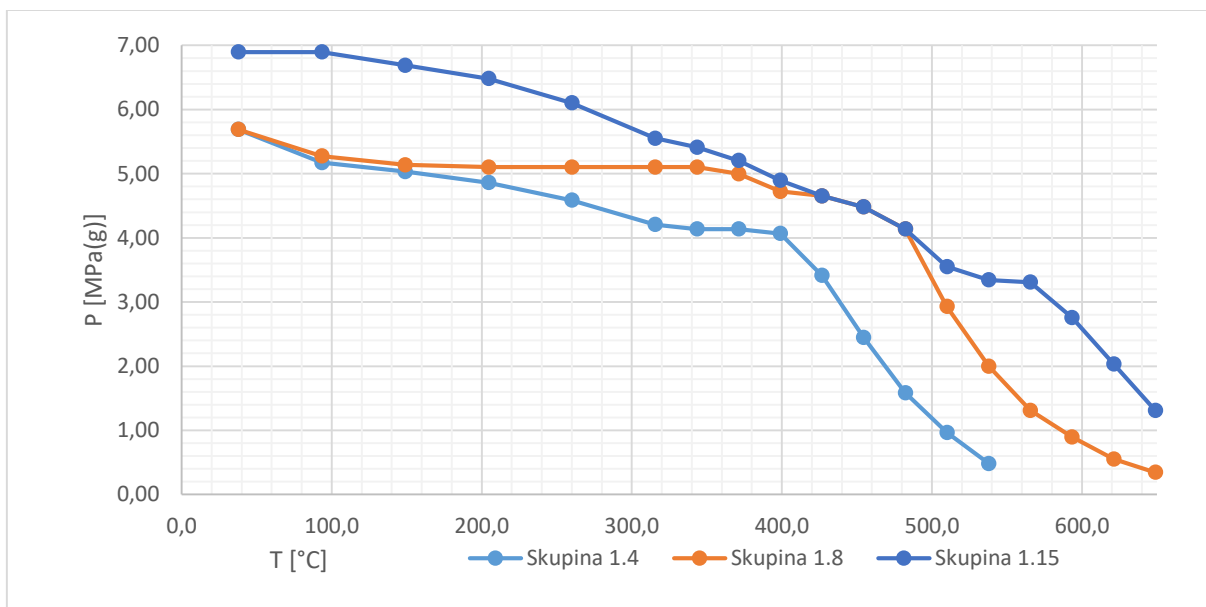
Literatura [1] definuje pro jednotlivé tlakoteplotní stupně pouze několik teplot s příslušnými přetlaky. Potřebuje-li konstruktér vypočítat hodnotu  $p_{st}$  mezi dvěma teplotami, musí použít lineární interpolace mezi dvěma krajními body. Z toho důvodu lze použít pro grafy 4.6 a 4.7 lineární spojení mezi dvěma body.

Na rozdíl od normy [12] definuje norma [1] dva typy tlakoteplotních stupňů pro stejnou skupinu materiálů, tzv. Standard Class a Special Class. Hodnoty Standard Class jsou určeny pro běžné

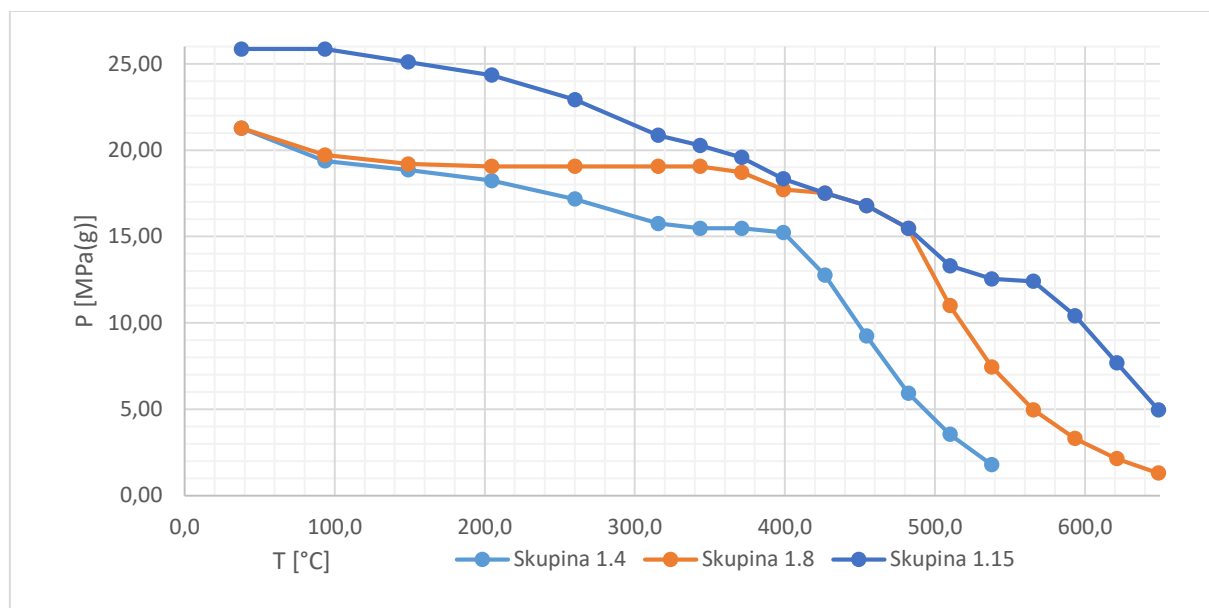
použití. Hodnoty Special Class definují vyšší hodnoty přetlaku oproti Standard Class. Použití hodnot Special Class je však limitováno dodržáním předpisů pro jednotlivé komponenty. Literatura [1] v kapitole 8 definuje příslušné nedestruktivní zkoušení, dále pak způsob opravy a výměny jednotlivých částí komponent. Z toho důvodu byly při výpočtu použity pouze hodnoty Standard Class, které jsou kritičtější pro jednotlivé komponenty.



Graf 4.5 - Graf tlakoteplotních stupňů pro CLASS 150 podle ASME B16.34



Graf 4.6 - Graf tlakoteplotních stupňů pro CLASS 400 podle ASME B16.34



Graf 4.7 - Graf tlakoteplotních stupňů pro CLASS 1500 podle ASME B16.34

Z grafů 4.6 a 4.7 je možno pozorovat, že platí výraz (4.3) pro stanovení  $p_{st}$  jednotlivých tlakoteplotních stupňů CLASS a hodnoty se liší pouze poměrově. Z toho tedy plyne, že chce-li si konstruktér nebo projektant navrhnout určitou mezitřídou tlakoteplotních stupňů CLASS, je možné využít hodnot z tabulek literatury [1] nebo výrazu (4.3). Jediným výraznějším rozdílem oproti ostatním je tlakoteplotní stupeň CLASS 150, který je zobrazen na grafu 4.5.

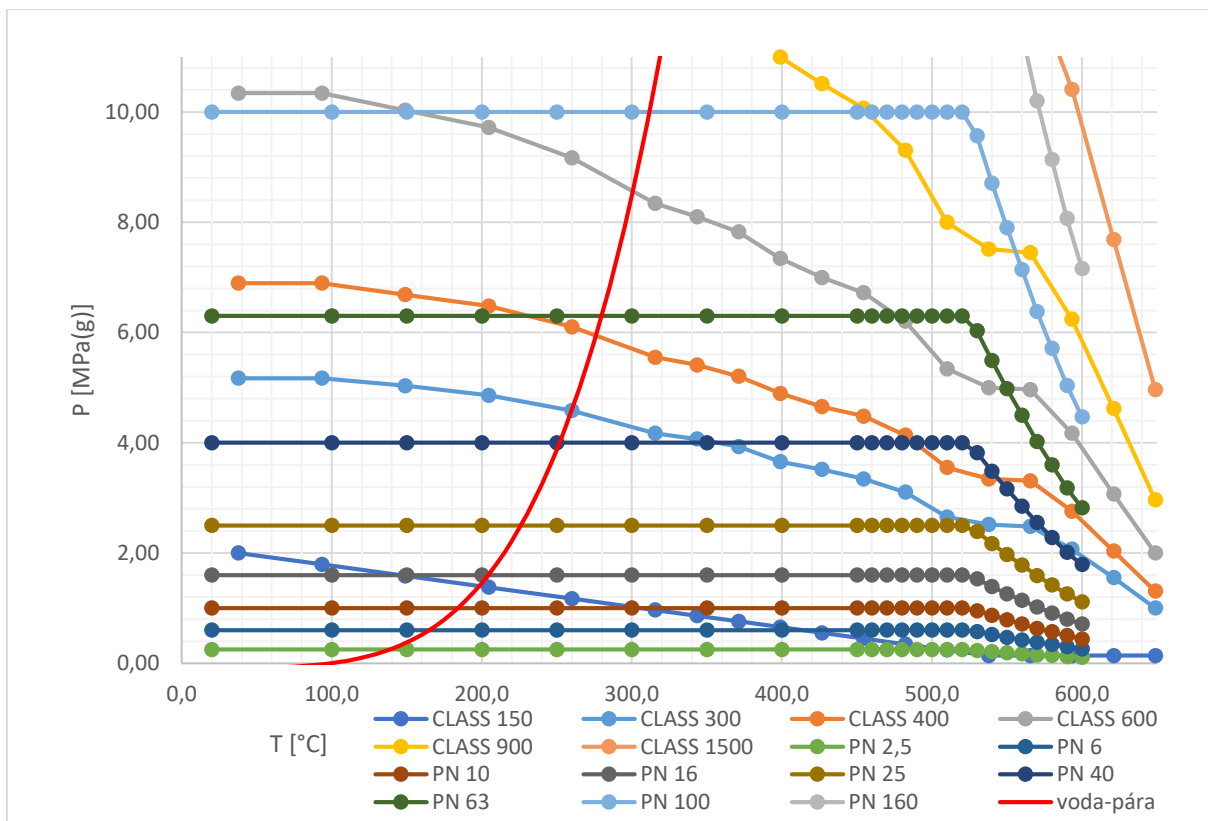
Pro stupně CLASS opět platí podobná úvaha vytvoření tlakoteplotních stupňů PN. Tím je myšlena snaha o vytvoření takového tlakoteplotního stupně, který bude mít v celém rozsahu teplot stejnou velikost rozměrů jednotlivých komponent, a tím relativně konstantní bezpečnost.

### 4.3.3 Porovnání tlakoteplotních stupňů PN a CLASS

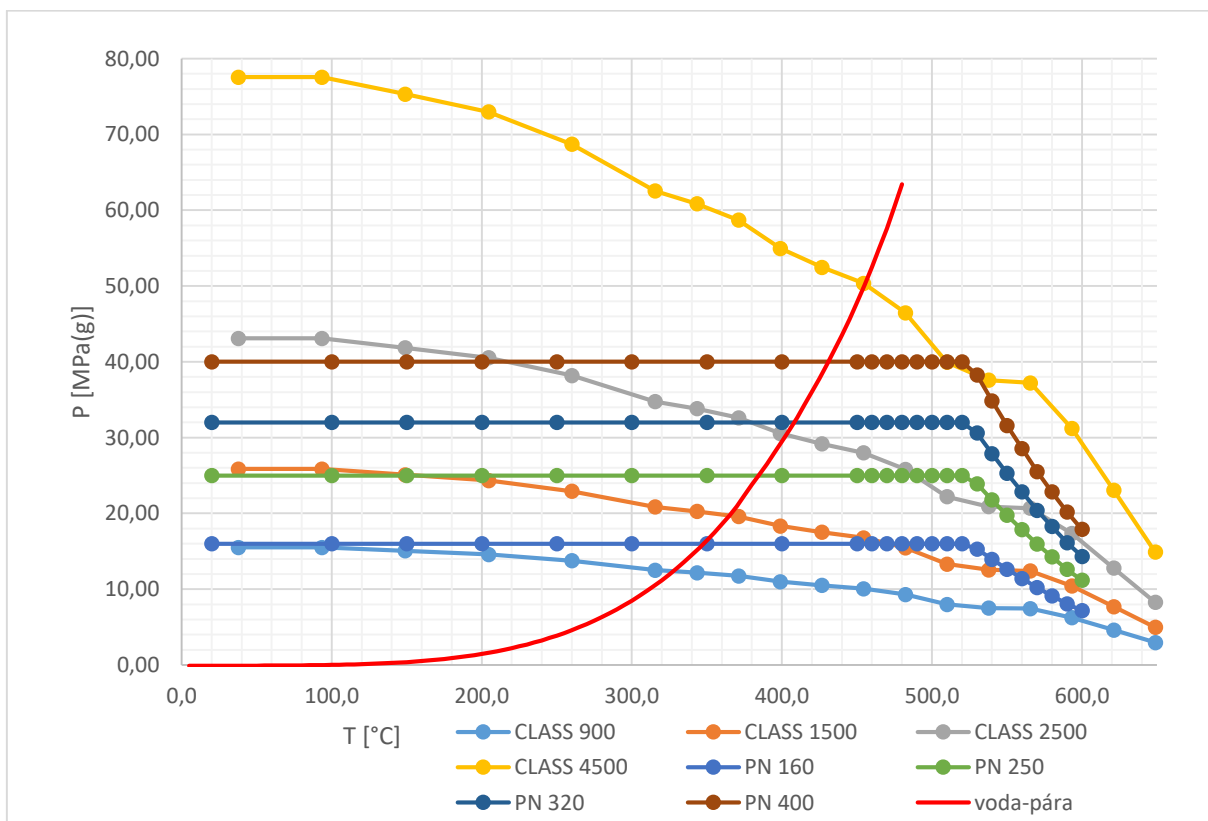
Pomocí grafů 4.4 a 4.7 můžeme provést porovnání mezi tlakoteplotními stupni PN a CLASS. Pro stupně PN se pro nízké teploty stanovuje hodnota maximálního přetlaku, která je v širokém teplotním rozmezí beze změny. Až při vysoké teplotě, kdy dochází k výraznému snížení hodnot pevnosti příslušných materiálů nebo dochází k výraznému creepu, dochází také ke snížení namáhání vnitřním přetlakem. Naproti tomu stupně CLASS už od nejnižších teplot předpokládají se vzrůstající teplotou postupnou ztrátu pevnosti a k poklesu dochází v celém intervalu. K největšímu poklesu namáhání vnitřním přetlakem opět dochází v oblasti creepu.

Jako porovnávací materiál mezi tlakoteplotními stupni EN a ASME je použita ocel 1.4903 (X10CrMoVNb9-1 a A335-P91). Tato ocel ze všech materiálů v této práci dosahuje nejlepších pevnostních vlastností. Křivka voda-pára byla určena na základě fázové transformace 1. a 2. řádu, viz začátek kapitoly 6.

Ačkoli se jedná o velké množství dat, která ubírají na přehlednosti grafů 4.8 a 4.9, vzhledem k podkapitolám 4.3.1 a 4.3.2 lze od sebe tlakoteplotní stupně PN a CLASS rozeznat.



Graf 4.8 - Tlakoteplotní stupně pro materiál 1.4903 od PN 2,5 do PN 100 [1] a od CLASS 150 do CLASS 1500 [12]



Graf 4.9 - Tlakoteplotní stupně pro materiál 1.4903 od PN 160 do PN 400 [1] a od CLASS 900 do CLASS 4500 [12]

Z grafů lze pozorovat, že ačkoli obě skupiny tlakoteplotních stupňů vycházejí z podobných systémů vytváření, vzájemná podobnost mezi jednotlivými tlakoteplotními stupni je velmi malá a možné připodobnění je téměř nemožné. Připodobnění mezi různými materiály nelze udělat ani v rámci jedné normy, protože se i zde jednotlivé hodnoty liší. Tím může pro stejné parametry páry vznikat zdánlivý paradox, že pro jeden materiál je definován jiný tlakoteplotní stupeň než pro druhý materiál.

Zajímavá je větší rozmanitost ve volbě tlakoteplotních stupňů PN, které jsou definovány pro menší pásmo vnitřních přetlaků. Naproti tomu tlakoteplotní stupně CLASS pokrývají větší interval, což umožňuje menší variabilitu v poptávce a ve výrobě, a to zvyšuje možnou sériovost výroby.

Další zajímavostí je, že tlakoteplotní stupně PN jsou definovány v menším intervalu teplot oproti stupňům CLASS. To platí pro všechny porovnávané materiály, viz podkapitoly 4.3.1 a 4.3.2. Lze konstatovat, že tlakoteplotní stupně PN jsou konzervativnější v oblasti vysokých teplot a creepu a nutí konstruktéra používat při vysokých parametrech páry materiály s vyšší jakostí.

Výhodou je, že oba normované tlakoteplotní stupně pokrývají významné rozmezí parního média, což znázorňuje červená křivka, která odděluje látkové stavy čisté vody a páry.

Nevýhodou je, že pro nadkritické parametry páry jejich využití, a to hlavně u stupňů PN, významně klesá. O možnosti využít tlakoteplotních stupňů pro nadkritické parametry svědčí tabulka 4-3. Je to dáno pravděpodobně z důvodu zvýšení bezpečnosti, aby byly jednotlivé komponenty pro takto vysoké parametry dimenzovány samostatně. Může nastat varianta, že pro určité vysoké parametry páry není možnost vyrobit jednotlivé komponenty podle tlakoteplotního stupně, a je tedy nutno provést samostatný konstrukční, resp. pevnostní, návrh jednotlivých komponent podle příslušných norem [16] a [2]. To ovšem může velmi prodražit cenu projektu a je na zváženu, jestli se vyplatí takto investovat pro zvýšení účinnosti celé elektrárny.

Číslo materiálu	1.7380	1.7380	1.4903	1.4903
Označení podle EN, ASME	10CrMo9-10	A335-P22	X10CrMoVNb9-1	A335-P91
Teplota	[MPa(g)]	[MPa(g)]	[MPa(g)]	[MPa(g)]
500 °C	25,71	37,84	40,00	42,30
510 °C	22,47	32,99	40,00	39,96
520 °C	19,61	29,16	40,00	39,10
530 °C	17,14	25,32	38,28	38,24
540 °C	14,85	21,74	34,85	37,55
550 °C	12,95	19,06	31,61	37,42
560 °C	11,04	16,38	28,57	37,30
570 °C	9,71	14,10	25,52	36,27
580 °C	8,38	12,31	22,85	34,09
590 °C	7,23	10,52	20,19	31,92
600 °C	6,47	9,08	17,90	29,25
610 °C	XXX	7,80	XXX	26,32
620 °C	XXX	6,52	XXX	23,39
630 °C	XXX	5,58	XXX	20,45
640 °C	XXX	4,69	XXX	17,51

Tabulka 4-3 - Tabulka výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů PN 400 [12] a CLASS 4500 [1]

## 5 Teorie ke svařovací části

Následující text uvádí technologické informace, které mají objasnit projektantovi věci spojené s budoucí montáží tlakového zařízení a mají zásadní vliv na ocenění pracnosti svařování různých komponent z hlediska vhodné volby materiálu potrubní trasy, která obsahuje parní médium o určitém přetlaku a teplotě. Dále je v této práci ukázáno možné nacenění stanovených svářečských postupů přidělených jednotlivým průměrům potrubí a tloušťek stěny podle svařovaného materiálu.

Úkolem této práce není detailně pojednávat o způsobech svařování jednotlivých ocelí a tloušťek stěn jednotlivých komponent parního potrubí. Úkolem nemá být ani teoretický rozbor změn podmínek svařování na následné kvalitě a ceně díla.

Teorie a postup při ocenění pracnosti svařování byl proveden z hlediska norem EN, a to z důvodu jejich častého použití na projektech DSPW.

### 5.1 Definice svářečských předpisů

Právní požadavky pro uvádění tlakových zařízení na trh v ČR a v EU jsou předepsány v směrnici Evropského parlamentu a rady 2014/68/EU, kde jsou definovány právní předpisy států EU. Dále je třeba dodržet nařízení vlády č. 219/2016 Sb., které pojednává o posuzování shody tlakových zařízení při jejich dodávání na trh.

Pokud chce daná firma provádět podle norem EN svařování s následným doložením kvality provedení, musí se řídit podle série norem ČSN EN ISO 3834, kde jsou definovány základní požadavky pro tavné svařování kovových materiálů. Každý dodavatel svařovaných tlakových zařízení by měl být certifikován podle EN ISO 3834-2. Každá firma si definuje vlastní podmínky provádění svářečských prací, tepelného zpracování a kontrol svarů, které jsou závazné nejen pro její zaměstnance, ale i pro její dodavatele.

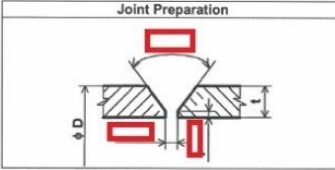
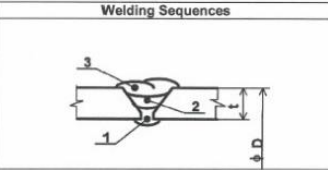
Každá firma musí mít zpracované a třetí stranou certifikované svářečské postupy pro výrobu a opravu svařovaných částí. Odborně se tyto certifikáty nazývají „Protokol o schválení postupu svařování“ (anglicky „Welding procedure Qualification Record“), tzv. WPQR. Jejich zhotovení je prováděno na základě série norem ČSN EN 15614.

Dokument WPQR vzniká tak, že je vytvořen návrh předběžného způsobu svařování na zkušební vzorku, tzv. pWPS. Zkušební vzorek je po provedení svaru podroben sériím testů, které mají odhalit změnu materiálových a mechanických vlastností svarového spoje. Přesnou definici a rozsah nedestruktivních i destruktivních materiálových zkoušek je možno nalézt v sérii norem ČSN EN 15614, které se rozlišují podle typu svařování.

Bylo by zbytečně složité a nákladné provádět schválení WPQR pro každou existující ocel. Využívá se faktu, že jednotlivé oceli si jsou podobné. Proto jsou oceli rozděleny do celkem 11 skupin a podskupin podle chemického složení a mechanických vlastností ocelí. Toto rozdělení definuje norma TNI CEN ISO/TR 15608, dále jako literatura [27]. Rozdělení materiálů podle literatury [27], o kterých pojednává tato práce, je k nalezení v tabulce 3-2.

Z certifikovaných WPQR je vytvořen podřízený dokument pro zhotovení daného svaru na konkrétní potrubní trase, který svými parametry zasahuje do schválené WPQR. Odborně se tento dokument nazývá „Specifikace svářečských postupů“ (anglicky „Welding procedure specification“), tzv. WPS. Tento svářečský předpis přesně definuje druh konstrukčního provedení svaru, svarový postup a svarové podmínky, které na daném díle má svářeč vykonat a bez kterého nesmí dané dílo vykonávat. Jedná se o přehledný formulář, jehož znění a detailní

definice jeho obsahu jsou k nalezení v sérii norem ČSN EN 15609, které se rozlišují podle typu svařování. Pro ilustraci je uveden obrázek 5-1, který uvádí WPS používané firmou DSPW.

DOOSAN Doosan Škoda Power		WELDING Manufacturer's Welding Procedure Specification (WPS)		Císlo: Page	Rev. 1 z 1			
Location: Plzeň		Examiner or test body: DOOSAN ŠKODA POWER s.r.o.		Method of Preparation and Cleaning:				
Manufacturer's Welding Procedure:		Parent Material Specification: Mat. Gr.						
WPS No: [redacted]		Material Thickness [mm]: [redacted]						
WPQR No: [redacted]		Outsider Diameter [mm]: [redacted]						
Manufacturer: DOOSAN ŠKODA POWER s.r.o.		Welding Position: PA, PC, PH, PF						
Welders qualification: EN 287-1 or EN ISO 9606-1								
Welding process: [redacted]								
Joint Type: [redacted]								
Weld Preparation (Sketch) <sup>1</sup> : [redacted]								
								
Welding Details:								
Run	Process	Size of Filler Metal	Current [A]	Voltage [V]	Type of Current/ Polarity	Wire Feed Speed [m/min]	Travel speed <sup>2</sup> [mm/min]	Heat input <sup>3</sup> [kJ/mm]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3 - n	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Filler Metal Classif., trade name:								
141 / [redacted]								
111 / [redacted]								
Any Special Baking or Drying: [redacted]								
Gas, Flux:			shielding: [redacted]			Other information <sup>2</sup> :		
backing: [redacted]			Gas, Flow Rate:			Weaving (max. width of run) [redacted]		
shielding: [redacted]			backing: [redacted]			Oscillation/amplitude, frequency, [redacted]		
backing: [redacted]			Tungsten El.-Type, Size: [redacted]			Dell time: [redacted]		
Details of Back Gouging/Backing: [redacted]			Stand off distance: [redacted]			Pulse welding details [redacted]		
Preheat Temperature: [redacted]			Gas Nozzle diameter: [redacted]			Torch angle: [redacted]		
Interpass Temperature: [redacted]			Post-Heating: ---			Temperature measuring: [redacted]		
Holding Temperature: [redacted]			PWHT and/or Ageing:			Time, Temperature, Method: [redacted]		
Post-Heating: ---			Heating and Cooling Rates <sup>3</sup> : [redacted]			<sup>2</sup> if required According to EN ISO 15609-1		
Manufacturer: [redacted]			Examiner or test body: [redacted]			Name, date, signature: [redacted]		
Name, date, signature: [redacted]			Name, date, signature: [redacted]			Name, date, signature: [redacted]		

Obrázek 5-1 - Příklad WPS používané v DPSW

Níže je uveden odstavec pro lepší propojení výše zmíněného se svařováním potrubí. WPQR obsahuje ve svém titulním listu velikost  $D_0$  a tloušťku stěny, na které byl proveden zkušební svarový spoj podle zadaného předpisu pWPS. Dále WPQR obsahuje typ materiálu podle literatury [27], definuje teploty předehřevu, interpassu, PWHT, přípravu elektrod, aj. Po vykonání svaru podle příslušné pWPS je na zkušebním svaru provedena řada testů, které mají odhalit změnu materiálových a mechanických vlastností (např. vizuální zkoušky, příčná zkouška tahem a ohybem, zkouška tvrdosti, radiografické a ultrazvukové zkoušení, apod.). Výsledky těchto zkoušek jsou uchovávány a stávají se součástí dané WPQR. Dále daná WPQR na svém titulním listě definuje možný rozsah použití pro  $D_0$ , tloušťku stěny a skupinu materiálů, pro které se daná WPQR vztahuje. Z nich jsou následně jednotlivě vytvářeny WPS pro svářeče, podle kterého musí svářeč provést daný svar na dané potrubní trase.

Je zde vhodné zmínit, že obdobou WPQR jsou podle norem ASME dokumenty PQR (anglicky „Procedure Qualification Record“). Těmito dokumenty disponuje firma DSPW také, avšak ve výpočtu z nich nebyly uvažovány žádné hodnoty.

Data pro ohodnocení samotných pracností svařování různých materiálů, průměrů potrubí a tloušťek stěn byla získána z WPQR vlastněných firmou DSPW. Vzhledem k citlivosti dat a „know-how“ firmy nemohou být v této práci uvedeny přesné hodnoty pro výpočet. V podkapitole 6.2 je však uveden postup, podle kterého bylo provedeno ohodnocení.



## 5.2 Metody technologie svařování

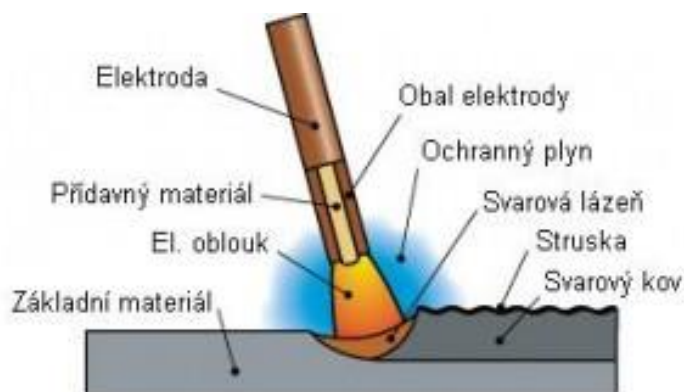
Ve výpočtu pracnosti svařování vždy byla volba technologie obvodových svarů potrubní trasy zvolena na základě dané WPQR. Nicméně na základě odborné konzultace pro svařování potrubí lze říci, že pro DN menší než 80 je vhodné používat svařovací metodu 141 pro jakoukoli kombinaci materiálu a tloušťky svaru, které jsou posuzovány v této práci. Dělá se tak z důvodu určité univerzálnosti mezi svářeči a nižší pracnosti této svařovací metody. Pro DN rovno a větší než 80 se také používá svařovací metoda 141, ale obvykle jen do tloušťky stěny 8 mm. Pro větší tloušťky stěny se používá kombinace metod 141 a 111, kdy metoda 141 je použita u kořene svaru a metoda 111 je použita pro vyplnění zbytku svaru.

Důvodů nahrazení metody 141 metodou 111 pro velké tloušťky potrubí je několik. Jedním z důvodů je například to, že metoda 141 by mohla vnést vyšší množství tepla do okolního materiálu oproti metodě 111. Další výhodou metody 111 je možnost rychlejšího provedení svaru. Nevýhodou metody 141 je použití ochranného plynu, které požaduje ochranu provedení svaru z hlediska povětrnostních podmínek.

### 5.2.1 Metoda 111

Svařovací metoda 111, resp. SMA nebo MMA nebo ruční obloukové svařování obalovou elektrodou, je taková metoda, kdy elektrický oblouk hoří mezi základním materiálem a tavicím se jádrem elektrody, který je obalen ochrannou hmotou. Funkcí obalu je během natavení jádra drátu vytvořit takové prostředí v okolí svaru, které zamezí přístupu okolní atmosféry, oxidaci nataveného kovu a může mít i další funkce v závislosti na chemickém složení obalu. Elektrody se vyrábí v rozsahu průměrů 1,6 až 8,0 mm s délkou až do 500 mm. [8]

Elektrody se musí skladovat v místnosti s klimatickými podmínkami, které definuje výrobce elektrod. Pro následné dokázání správného zacházení s elektrodami je nutné zaznamenávat teplotu a vlhkost vzduchu v místnosti. Před použitím je nutné elektrodu vysušit podle typu obalu (kyselý, bazický, rutilový) na určitou teplotu (až 350 °C) a po určitou dobu (až 2 hodiny). V opačném případě hrozí možnost difuze vodíku ve svarovém kovu nebo vznik plynových dutin. Sušení není nutné provádět, jsou-li elektrody vakuově balené, avšak opět musí být jejich skladování a příprava provedeny podle podmínek výrobce elektrody. Detailnější popis svařování pomocí metody 111 je uveden v literatuře [8].



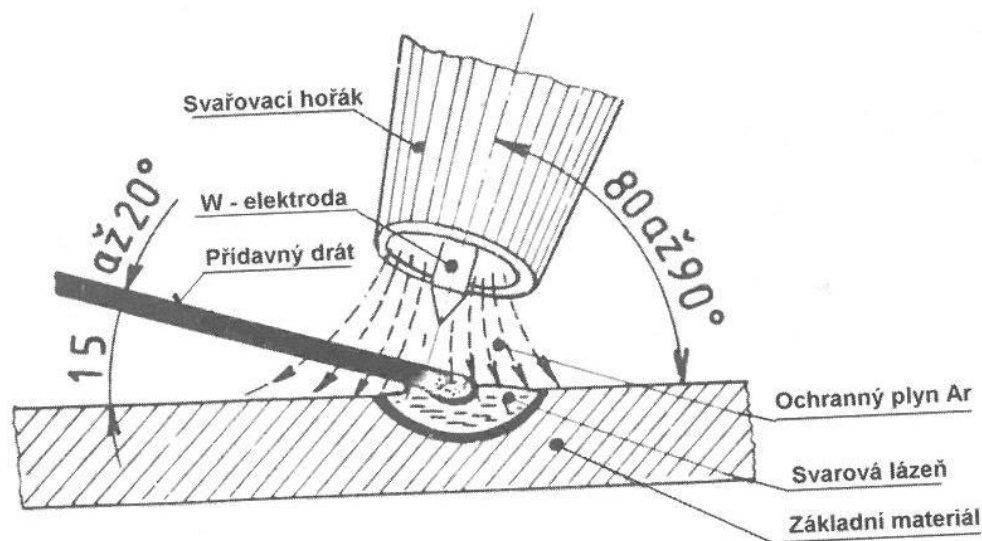
Obrázek 5-2 – Ilustrující obrázek svařování metodou 111 [33]

Pro výpočet provedený v této práci je konstatováno, že při svařování metodou 111 byl typ obalu elektrody vždy bazický a elektrody se před svařováním musely vysušit v peci po dobu tří hodin. Každý obvodový spoj bylo nutno vyplnit příslušným přídavným drátem definovaným ve WPQR.

### 5.2.2 Metoda 141

Svařovací metoda 141, resp. TIG nebo WIG, je taková metoda, kdy elektrický oblouk hoří mezi základním materiálem a netavící se elektrodou. Jako ochrana proti oxidaci slouží inertní plyn v podobě Ar, He nebo jejich směsi. Daný plyn chrání nejen svarovou lázeň směrem k elektrodě, ale může být předepsána i ochrana kořene svaru.

Svařování se provádí bez přídavného nebo s přídavným drátem v závislosti na typu svarového spoje. Přídavné dráty se liší podle typu svařovaných materiálů (chemického složení, mechanických vlastností a typu spoje). Svařovací dráty jsou většinou dodávány o délce jednoho metru a průměrech od 1,2 mm až po 4 mm. Dráty je vhodné skladovat v suchém prostředí pro zamezení kontaktu s vlhkostí. V takovém případě není nutné dráty nijak sušit nebo předehřívat před použitím. [7], [24]



Obrázek 5-3 - Ilustrativní obrázek svařování metodou 141 [7]

Během svařování dochází k postupnému natavování základního materiálu a přídavný drát se postupně odtavuje. Svářeč musí dbát na to, aby se natavený konec drátu nedostal vně ochranné zóny, což by mohlo způsobit jeho oxidaci. [7] Detailnější popis svařování pomocí metody 141 je uveden ve zdroji [7].

Pro výpočet provedený v této práci je konstatováno, že při svařování metodou 141 byl vždy inertním plynem argon a každý spoj bylo nutno vyplnit příslušným přídavným drátem definovaným ve WPQR.

### 5.3 Svařovací polohy

Jednotlivé WPQR a podmínky svařování se liší podle typu pracovních poloh při svařování. Pro výpočet byla snaha používat pouze polohy svařování PC. V případě chybějící WPQR pro danou kombinaci byla používána data z příslušné WPQR s jinou polohou svařování. Ukázka svařovacích poloh je uvedena v příloze 1.

### 5.4 Zajištění vzájemné polohy

Pro vzájemné svaření dvou trubek pomocí obvodového svaru je nutné dostatečně zajistit vzájemnou polohu mezi dvěma díly. V mnoha případech je toho dosahováno pomocí upínacích přípravků. Ty musí zajišťovat dostatečnou tuhost, jednoduchou nastavitelnost vzájemné polohy a šířky svarové mezery. Pro ilustraci je uveden obrázek 5-4.



Obrázek 5-4 - Ilustrační příklad zajištění vzájemné polohy dvou potrubí při svařování na stavbě [31]

Při výpočtu svarové náročnosti však bylo uvažováno, že všechny svary bez ohledu na materiál, jmenovitou světlost a tloušťku stěny je nutné zajistit stejným postupem. Proto tento faktor neměl žádný vliv na celkovou volbu vhodného materiálu a kapitola je zde uvedena pouze pro představu pracnosti jednoho svaru.

## 5.5 Předehřev a tepelné zpracování ocelí během svařování

Při svařování materiálu může vznikat ve svarovém kovu celá řada nečistot (vměstky, póry, atd.) a také může vznikat napjatost v tepelně ovlivněné oblasti. Tato struktura je citlivá na vznik trhlin. Jejich četnost a velikost je ovlivněna tepelným zpracováním během jednotlivých svářečských postupů. Zdroj [23] v kapitole 8 a zdroj [24] v kapitole 7 definuje a popisuje například trhliny za horka, za studena, lamelární a žíhací trhliny. Pro jejich eliminaci je důležité dodržet určité minimální nebo maximální teploty před a po svařování a doby pro umožnění chemických procesů.

Veškeré tepelné zpracování tlakových potrubních zařízení musí být provedeno v souladu s normou ČSN EN 13480-4, dále jako literatura [17]. V literatuře [17] jsou v kapitole 9 uvedeny teplotní podmínky, které musí být během svařování dodrženy. Dále se zde definují například podmínky svařování, sestavení a příprava spoje a také tepelné zpracování po svařování spolu s rychlostí změny teploty.

Pro dosažení příslušných teplot, které jsou uvedené pro svářeče ve WPS, slouží různé technické možnosti. Metody, které jsou určeny pro svařování potrubí přímo na stavbě, ale také při možné prefabrikaci ve výrobním závodě, využívají zařízení uvedené na obrázku 5-5, tzv. elektro odporové žíhací zařízení. Odporový drát je připojen na zdroj energie a zároveň prochází skrze keramické destičky, tzv. dečky. Tyto dečky jsou umístěny z obou stran svaru potrubní trasy a v případě potřeby je možno je svázat jednoduchým drátem, takže jejich aplikace není náročná. Na dečky je ještě následně nanášena izolace v podobě například minerální vaty. [26]

Průchodem elektrického proudu skrze odporový drát dojde k ohřátí drátu, a tím i samotných destiček. Ovládacímu panelu zařízení je možné zadat požadovanou výslednou teplotu a rychlost změny teploty a přístroj si sám reguluje výkon pro udržení předepsané teploty.

V případě, že je požadována vysoká teplota materiálu během celého procesu svařování, je možné na potrubí nanést více keramických destiček v řadě za sebou a směrem od svaru snižovat jejich teplotu. Tím je možné docílit snížení teplotního gradientu a zmenšení tepelné ztráty během svařování. Další možností je použití indukčního ohřevu. [26]



Obrázek 5-5 – Elektro odporové žíhání svaru potrubí [30]

### 5.5.1 Předehřev a teplota interpass

Návod k určení teplot předehřevu a interpass je k nalezení v normě ČSN EN 1011-2, dále jako literatura [11]. Teplota předehřevu se stanovuje pro eliminaci možného vodíkového praskání. Tyto trhliny vznikají za teplot nižších než 200 °C v podhousenkové, ale i kořenové oblasti. Zdrojem vodíku ve svarovém kovu je vlhkost na obalu elektrody, přídavných drátů nebo atmosférická. [23]

Nicméně záleží na mnoha dalších faktorech, kdy se může vodíkové praskání projevit. Zdroj [11] definuje v kapitole C například chemické složení oceli, svařovací metodu nebo napětí během svařování. Počet metod pro stanovení teplot předehřevu je více, a to buď početní nebo grafickou metodou, kdy jednotlivé metody jsou detailně popsány ve zdroji [11] v kapitole C. Výsledná hodnota je závislá například na příkonu svařování a tloušťce svarového spoje.

Minimální teplota interpass je minimální teplota předešlé housenky pro nanesení dalšího housenky. Zavádí se právě z důvodu zamezení poklesu teploty pod hodnotu umožňující vodíkové praskání. Maximální teplota interpass je pak omezena, aby nedošlo ke zvětšení zrn materiálu, čímž by došlo k možnému poklesu meze kluzu a pevnosti. Definuje se hlavně pro austenitické nerezové oceli. [35]

Z výše zmíněných důvodů plyne, že je nutné dodržovat teplotní přípravy svarového materiálu, sušení přídavných materiálů před použitím, chránit přídavné materiály před navlhnutím nebo dodržovat určitá teplotní rozhraní během svařování, což může ovlivňovat celkovou dobu svařování. [23]

### 5.5.2 PWHT – Tepelné zpracování po svařování a rychlost změny teploty

Tepelné zpracování po svařování slouží k odstranění vnitřního pnutí a odolnosti proti vzniku trhlin. U nízko legovaných ocelí jde o zvýšení žárupevnosti po svaření. [7], [24]

Norma [17] podkapitolou 9.14 definuje tepelné zpracování ocelí po svařování jednotlivých skupin materiálů rozdělených normou [27]. Dále norma [17] definuje tzv. řídicí tloušťku  $w$  pro porovnání různých druhů svaru. Pro tupé svary I, V a W se jedná o nejdelší tloušťku součásti.

Teploty PWHT pro skupiny materiálů, které se vztahují k této práci, jsou uvedeny v tabulce 5-1. Rychlost ohřevu a ochlazování je definována výrazem (5.1) z normy [17]. V případě montáže potrubí na stavbě se jedná o změnu teploty na vzduchu.

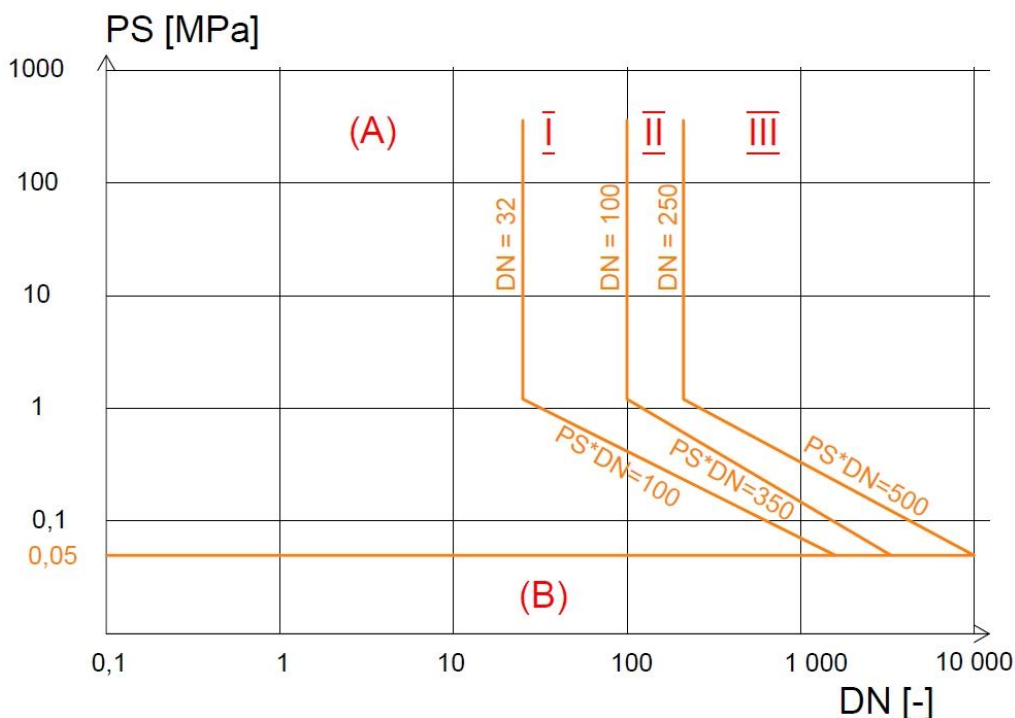
$$\text{"rychlost změny teploty"} = \min \left\{ \frac{5500}{w}; 300 \right\} [^{\circ}\text{C} \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (5.1)$$

Podskupina materiálů	Říd. tloušťka	Doba výdrže	Teplota	Poznámka
	w [mm]	[min]	[°C]	
1.1	< 35	30	550 až 620	Pouze ve speciálních případech
5.1	< 15	2·w, minimálně 15	630 až 700	Při nízkém vnějším průměru, řídicí tloušťce a teplotě předehřevu nad 200 °C není nutné PWHT, pokud to sám provoz nepožaduje
	15 až 60	2·w	630 až 700	
5.2	< 15	2·w, minimálně 15	670 až 730	
	15 až 60	2·w	670 až 730	
6.4	< 12	30	730 až 770	Před PWHT by měla být přidána doba pro transformaci na martenzit
	12 až 60	2·w, minimálně 60	730 až 770	

Tabulka 5-1 - Tabulka tepelného zpracování po svařování podle ČSN EN 13480-4

## 5.6 NDT - Nedestruktivní zkoušení obvodových svarů

Po dokončení svarového úkonu musí být provedena nedestruktivní kontrola v souladu s normou ČSN EN 13480-5, dále jako literatura [18]. Kontrola slouží k možné indikaci vad ve svarovém kovu a okolním materiálu. V literatuře [18] je v kapitole 8 k nalezení detailní popis procentuálního rozsahu kontrol při provedení svarů (obvodový, svaření odboček, hrdel, těsnící svary) na potrubních trasách tlakového zařízení. Materiály jsou děleny podle normy [27] a zároveň jsou jednotlivé systémy rozděleny do pěti potrubních kategorií, a to podle proudícího média (jeho nebezpečnosti při úniku do okolí), rozměrů DN a tlaků PS podle norem [15] a [19].



Obrázek 5-6 - Klasifikace potrubních skupin pro páru pro NDT podle ČSN 13 0020 a ČSN EN 13480-5

Materiálová skupina	Potrubní kategorie	VT [%]	MT/PT [%]	RT/UT [%]
1.1	I	100	0 (5)	5
	II	100	0 (5)	5
	III	100	0 (5)	10
5.1	I	100	5	10
	II	100	5	10
	III	100	5	10 (25)
5.2	I	100	5	10
	II	100	5	10
	III	100	5	10 (25)
6.4	I	100	10	25
	II	100	25	25
	III	100	100	25 (100)

*Hodnoty v závorce platí pro potrubí za teplot, kdy se výrazně projevuje tečení*

Tabulka 5-2 - Rozsah zkoušení obvodových svarů definovaných podle ČSN EN 13480-5

Obecně uznávané metody pro zjišťování přístupných povrchových diskontinuit	Materiál	Zkušební metoda	Obecně uznávané metody pro zjišťování vnitřních diskontinuit u tupých svarů	Jmenovitá tloušťka	
	Feritické ocel	VT		tloušťka $\leq 8$	tloušťka $< 8 \leq 40$
		VT a MT		RT nebo (UT)	RT nebo UT
		VT a PT		<i>metody v závorce jsou použitelné omezeně</i>	

Tabulka 5-3 - Obecně uznávané NDT metody podle ČSN EN ISO 17635

Tabulka 5-3 ukazuje možné kombinace provedení NDT zkoušek a že není nutné ve všech případech provést všechny NDT metody předepsané v tabulce 5-2.

Provedené svary jsou rozdělené podle svářeče a předpisu WPS, podle kterého svářeč postupoval. Pomocí normy [18] lze shrnout, že všechny svarové spoje, které se vztahují k této práci, musí být vizuálně kontrolovány před i po provedení svařování. Je definováno zdrojem [18], že na určitém procentu z celkového počtu svarů jednoho svářeče a jedné WPS je nutno provést zkoušení povrchu (magnetická prášková metoda nebo kapilární zkoušení) a objemové zkoušení (radiografické nebo ultrazvukové zkoušení), vždy však minimálně jeden svar musí být zkontrolován po celém svém obvodu. Lze konstatovat, že se zvětšující se hodnotou PS a hodnotou DN se velikost procent svarů s nutností provést NDT zkoušku zvětšuje, jak se zvětšuje hodnota kategorie potrubí. To lze pozorovat na obrázku 5-6.

Největší procento kontrolovaných svarů má materiálová skupina 6.4. Předpokládám, že je tak z toho důvodu, že materiály skupiny 6.4 jsou používány při vysokých parametrech páry (přetlak a teplota) a možná trhлина nebo netěsnost by mohla způsobit velké poškození okolních komponent a ohrožení na životě na rozdíl od potrubních systémů, které pracují s menšími parametry páry.

Je vhodné zmínit, že po provedení svarového úkonu se provádí také destruktivní zkouška tvrdosti materiálu. Ta slouží k potvrzení předpokládaných mechanických a materiálových vlastností, které byly předem naměřeny na zkušebním svarovém vzorku, a výsledky jsou zaznamenány v příslušné WPQR.

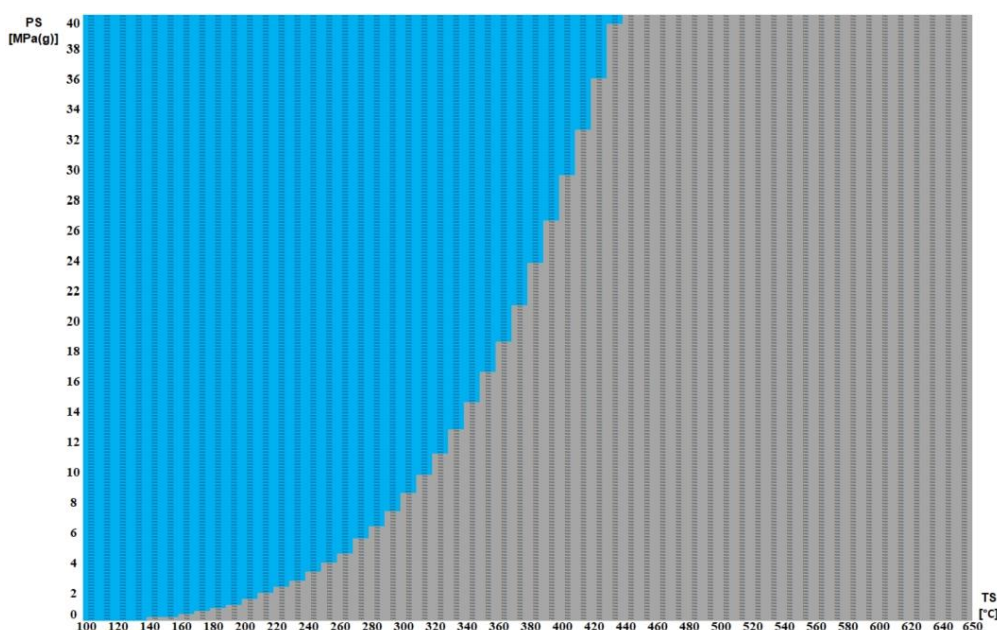
## 6 Popsání výpočtové části

Pro analýzu pracnosti zhotovení potrubní trasy je nutné konstatovat, že potrubní trasa může obsahovat různý počet obvodových svarů a zároveň i rozdílnou délku potrubí. Závisí to na účelu potrubní trasy a na způsobu provedení montáže, resp. jestli se jedná o umístění trasy v situaci, kdy v okolí nejsou žádné překážky, nebo se jedná o výměnu starší části potrubní trasy, kdy samotná montáž je zkomplikována z důvodu malého montážního prostoru. V tomto případě je nutné montovanou trasu rozdělit na části a zvýšit počet montážních svarů. Přidání počtu obvodových svarů zvyšuje cenu montáže z důvodu větší přípravy a času pro provedení svařovacího úkonu.

Po odborné konzultaci byla zvolena jako porovnávací varianta potrubní trasa o délce přímého bežešvého potrubí 30 metrů s 20 obvodovými svary, které provede jeden svářeč podle jedné WPS. Z těchto parametrů byla vypočtena výsledná cena potrubní trasy při použití jednotlivých materiálů. Výsledkem bylo porovnání ceny jednotlivých materiálů a zvolení nejlevnější varianty pro určité parametry páry. Výpočet byl sestaven tak, aby bylo relativně jednoduché změnit porovnávací parametry podle potřeby uživatele.

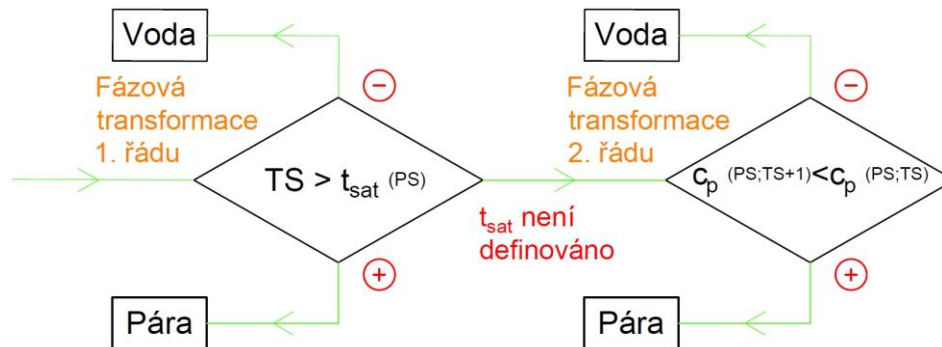
V porovnávací analýze vhodné volby materiálu nebyla zohledněna cena za různé tvarovky a kolena dané potrubní trasy, protože jejich cena se může podle možností dodavatele velmi lišit. Nicméně výpočet byl sestaven tak, aby si uživatel v případě potřeby mohl rychle přidat určitý počet kolen a tvarovek do celkové ceny za zhotovení potrubní trasy.

Výpočet provedený v rámci této analýzy byl proveden v programu Microsoft Excel 2016 s doplňkem tabulek vody a vodní páry „Steam97“. Z jednotlivých buněk byly poskládány grafy, resp. přehledové mapy. Parametry páry pro každou konkrétní situaci byly definovány na osách  $y$  a  $x$ , kdy každá buňka obsahovala na pomyslné ose  $y$  svůj maximální přetlak vůči okolí a na pomyslné ose  $x$  maximální teplotu vnitřního média. Množina bodů na ose  $y$  byla definována od 0,2 do 40 MPa(g) s lineárním přírůstkem 0,2 MPa(g). Množina bodů na ose  $x$  byla definována od 100 do 650 °C s lineárním přírůstkem 10 °C. Následně byl proveden výpočet pro každou buňku definovanou jejími parametry. Pro ilustraci je zde uveden obrázek 6-1.



Obrázek 6-1 - Graf voda (modrá) a pára (šedá)

Jelikož se jedná o médium  $H_2O$ , výpočet byl hned ze začátku omezen pouze na plynné skupenství této látky, tj. vodní páru. K tomu sloužil rozhodovací klíč na obrázku 6-2. Vzhledem k vysokým parametrům bylo zapotřebí uvažovat nejen fázovou transformaci 1. řádu (fázová přeměna je dána izotermickou a izobarickou změnou skupenství a změna vlastností jednotlivých fází je skoková), ale i fázovou transformaci 2. řádu, kdy změna vlastností při změně skupenství už není skoková, ale spojitá. Pro indikaci fázové transformace 2. řádu bylo uvažováno, že když klesá měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku a se zvyšující teplotou, jedná se o plynnou fázi, v případě růstu měrné tepelné kapacity se jedná o kapalnou fázi. Jinými slovy bylo uvažováno, že ke změně fáze u nadkritických parametrů dochází v lokálním maximu měrné tepelné kapacity za konstantního tlaku.



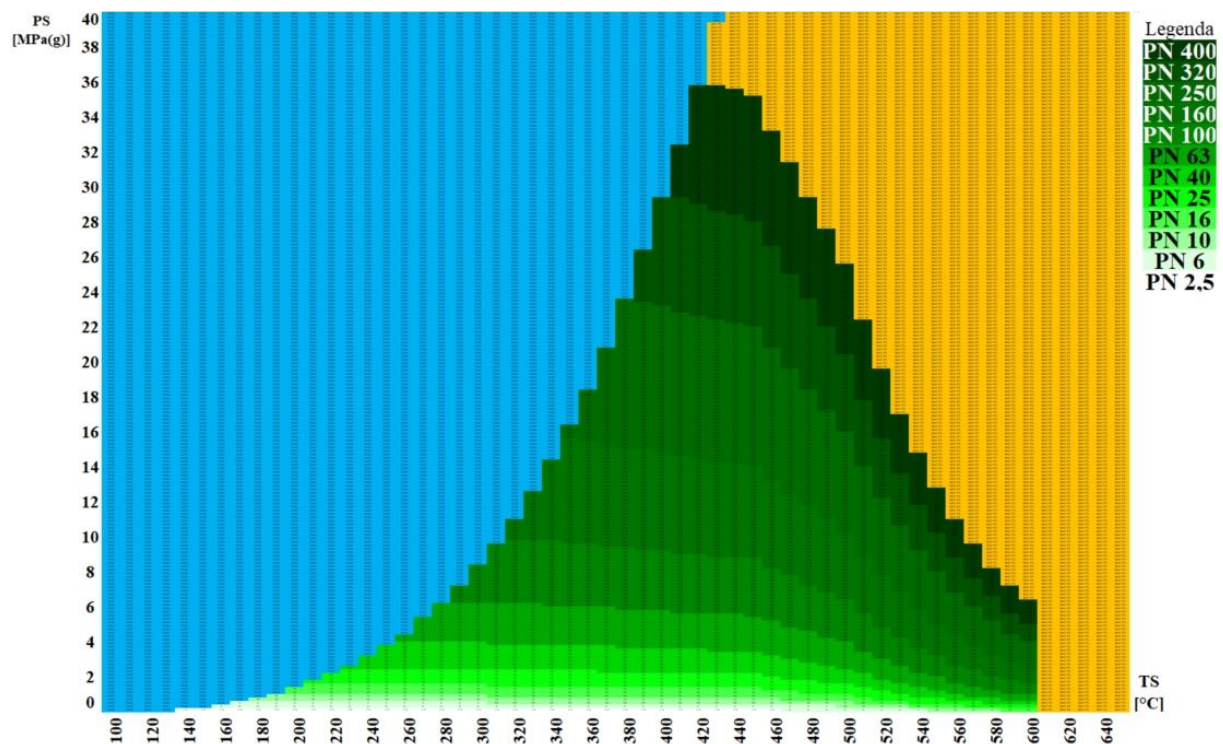
Obrázek 6-2 - Rozhodovací klíč o fázi pára – voda

Výpočet byl proveden podle norem EN a ASME samostatně pro každý materiál. Byly definovány výpočtové hodnoty potrubní třídy a to na základě tlakoteplotních stupňů z podkapitoly 4.3. Každému materiálu pro každou kombinaci maximálního přetlaku a teploty (definovaných na osách y a x) byl přiřazen nejbližší vyšší tlakoteplotní stupeň, který definoval výpočtové hodnoty přetlaku a teploty pro konkrétní situaci. Po provedení výpočtu byl vidět určitý paradox, že pro stejné parametry vnitřního přetlaku a teploty může být přiřazena jiná potrubní třída v závislosti na typu materiálu. Obecně lze říci, že se stoupající pevností materiálu může být přiřazena potrubní třída menšího tlakoteplotního stupně.

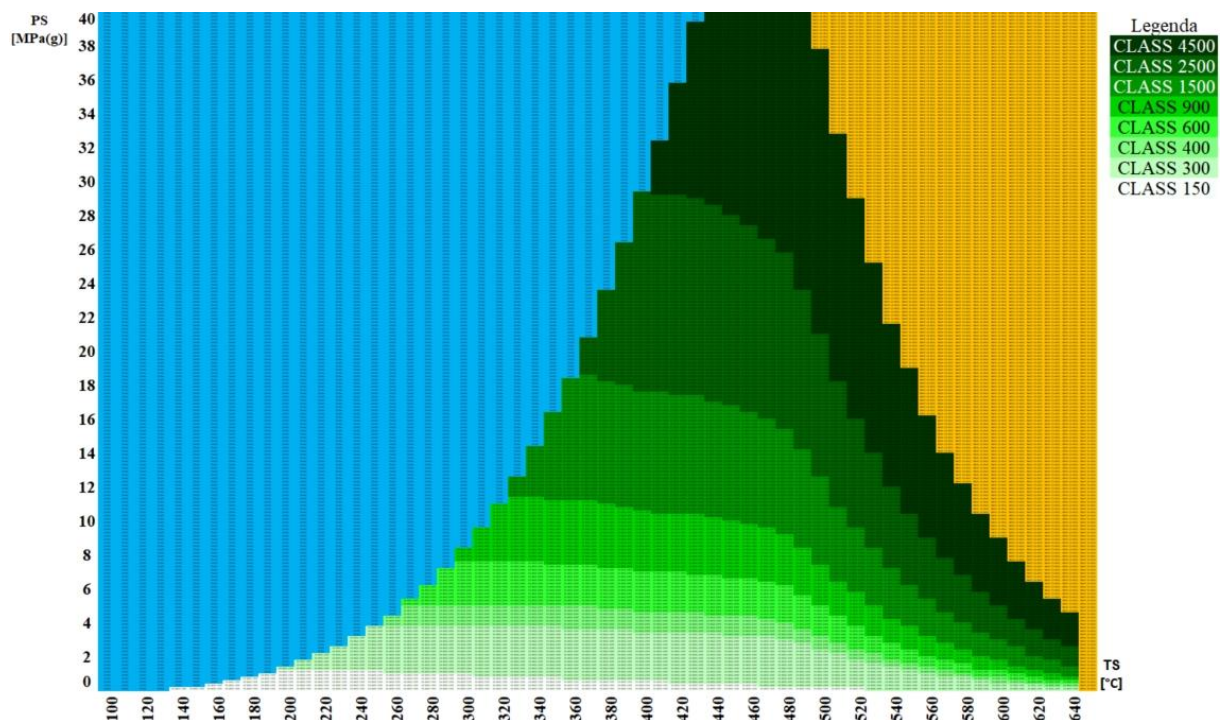
Pro ukázkou je na obrázku 6-3 uvedeno rozdělení potrubních tříd podle parametrů páry pro ocel 10CrMo9-10 podle rozdělení tlakoteplotních stupňů z literatury [12]. Pro porovnání je uvedeno na obrázku 6-4 rozdělení potrubních tříd podle parametrů páry pro ekvivalentní ocel A335-P22 podle rozdělení tlakoteplotních stupňů z literatury [1].

Pro velmi vysoké parametry páry může nastat situace, kdy ani nejvyšší tlakoteplotní stupeň dané normy není definován pro tyto parametry. To je způsobeno tím, že četnost použití těchto normalizovaných stavů je velmi malá a zároveň to nutí projektanty, kteří chtějí používat tyto parametry, sestavovat si samostatné pevnostní výpočty a dimenzaci komponent pro daný projekt s velmi vysokými parametry páry, čímž se zvyšuje bezpečnostní kontrola. Na přehledových mapách jsou tyto parametry podbarveny oranžovou barvou.





Obrázek 6-3 - Rozdělení potrubních tříd podle tlakoteplotních stupňů PN pro materiál 10CrMo9-10



Obrázek 6-4 - Rozdělení potrubních tříd podle tlakoteplotních stupňů CLASS pro materiál A335-P22

Výpočet je limitován maximální teplotou, pro kterou je definována pevnost materiálu. Vzhledem k tomu, že pro parametry páry o vysoké teplotě už není možné provést výpočet, jsou i tyto parametry podbarveny oranžovou barvou.

## 6.1 Výpočet tloušťky stěny potrubí

Celkový výpočet byl proveden v rozsahu všech tlakoteplotních stupňů zmíněných v podkapitole 4.3 a byl proveden pouze pro přímé potrubí. Teploty pro jednotlivé výpočty byly voleny při 50 °C, 100 °C s následným trendem růstu 10 °C až do maximálních hodnot uvedených příslušnými normami [1], [6], [12], [13]. Výpočet byl volen pro rozměry DN sepsané níže.

DN 25; DN 32; DN40; DN 50; DN 65; DN 80; DN 100; DN 125; DN 150; DN 200; DN 250

K určení tloušťky stěny přímého potrubí bylo přistupováno dvěma způsoby. První varianta výpočtu uvažovala, že tlakoteplotní stupeň musí mít v celém rozsahu teplot jednotnou tloušťku stěny z normalizované řady tlouštěk dané normy. Tloušťka stěny byla stanovena nejkritičtější variantou. Tím bylo umožněno danou třídu použít v celém rozsahu tlakoteplotního stupně bez ohledu na teplotu. Nevýhodou této varianty bylo, že při jednotné tloušťce stěny dané třídy pro celý rozsah teplot byly určité kombinace přetlaku a teploty daného tlakoteplotního stupně zbytečně předimenzovány.

Druhá varianta výpočtu uvažovala, že jednotlivé výpočtové teploty tlakoteplotního stupně mohou mít samostatnou tloušťku stěny, a to takovou, která pevnostně vyhovuje a zároveň je co nejmenší v normalizované řadě tlouštěk stěny dané normy. V praxi by to znamenalo samostatný výpočet a dimenzaci všech komponent pro každou teplotu a vnitřní přetlak zvlášť, což se jeví jako nereálné z hlediska pracnosti, efektivity a možnosti využití. Nicméně porovnání první a druhé varianty může ukázat, zdali se nevyplatí daný tlakoteplotní stupeň, resp. jemu odpovídající potrubní třídu, zúžit na určité teplotní omezení dané potrubní třídy, kdy by bylo možno dosáhnout menší tloušťky stěny, zmenšení množství použitého materiálu a úspory na celém technologickém procesu, který je s tím spojen (výroba, montáž).

Na základě odstavců výše byla každá potrubní třída rozdělena podle výsledků výpočtů tloušťky stěny potrubí maximálně do čtyř podtříd, kdy každá podtřída je definována minimální a maximální pracovní teplotou. Zároveň bylo snahou během rozdělení potrubní třídy nevytvořit potrubní podtřídu takovou, která by byla definována pouze pro jednu teplotu, resp. při zvýšení nebo snížení teploty média by bylo nutné zvolit jinou podtřídu. Každá podtřída má v celém svém rozsahu jednotnou tloušťku stěny potrubí, a to tu nejmenší, která pevnostně vyhovuje svému rozsahu parametrů a odpovídá standardizovaným rozměrům dané normy. Jelikož se cena za potrubí uvádí v Kč/kg, je možné konstatovat, že čím menší tloušťka stěny potrubí, tím menší pořizovací cena potrubí daného materiálu.

V reálné praxi by takovýto způsob rozdělení nemusel dostačovat vzhledem k tomu, že nebyl proveden výpočet tloušťky stěny pro další komponenty potrubní trasy, ale jen pro přímé potrubí. Jednotlivé tloušťky stěny by musely být mezi sebou porovnány a výsledkem by musela být varianta, která bude vyhovovat všem dimenzovaným komponentám. Další možností by bylo svařovat k sobě jednotlivé komponenty o různé tloušťce stěny, což by však muselo být prodiskutováno se svářečskými technologiemi vzhledem ke komplikovanosti provedení. Tato analýza v sobě neobsahuje ani jednu výše zmíněnou variantu.

### 6.1.1 Teorie výpočtu tloušťky stěny potrubí podle EN

Norma ČSN EN 13480-3, dále jako literatura [16], definuje ve své podkapitole 6.1 výpočet minimální požadované tloušťky stěny pro přímé potrubí bez přídavek při daném vnitřním přetlaku pomocí výrazů (6.3), resp. (6.7), pro dva různé případy (6.1), resp. (6.6). V literatuře [16] je možno nalézt variantu výpočtu, je-li definován vnější průměr  $D_0$  nebo vnitřní průměr  $D_i$ . Pro tuto práci byl uvažován konstantní vnější průměr  $D_0$ .

Z výrazů (6.3), resp. (6.7), pak byly odvozeny výrazy pro minimální potřebnou tloušťku stěny po výrobě  $T_{0min}$  (6.4), resp. (6.8), a výrazy pro maximální možné přetlaky při dané tloušťce stěny  $p_{c\_max}$  (6.5), resp. (6.9). Hodnota  $p_c$ , resp. přetlak média v potrubí, odpovídá hodnotě PS pro daný materiál a teplotu a její výpočet je nastíněn v podkapitole 4.3.1.

$$\frac{D_0}{D_i} \leq 1,7 \quad (6.1)$$

$$f = \min \{f_t; f_{cr}\} [MPa] \quad (6.2)$$

$$e_{min} = \frac{p_c \cdot D_0}{2 \cdot f \cdot z + p_c} [mm] \quad (6.3)$$

$$T_{0min} = e_{min} + c_0 [mm] \quad (6.4)$$

$$p_{c\_max} = \frac{2 \cdot f \cdot z \cdot e_{skut}}{D_0 - e_{skut}} [MPa] \quad (6.5)$$

$$\frac{D_0}{D_i} > 1,7 \quad (6.6)$$

$$e_{min} = \frac{D_0}{2} \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{f \cdot z - p_c}{f \cdot z + p_c}} \right) [mm] \quad (6.7)$$

$$T_{0min} = e_{min} + c_0 [mm] \quad (6.8)$$

$$p_{c\_max} = \frac{f \cdot z \cdot \left[ 1 - \left( 1 - e_{skut} \cdot \frac{2}{D_0} \right)^2 \right]}{1 + \left( 1 - e_{skut} \cdot \frac{2}{D_0} \right)^2} [MPa] \quad (6.9)$$

Součinitel hodnoty spoje  $z$  se započítává do vzorce pouze v případě, že část potrubí obsahuje minimálně jeden tupý svar jiný než obvodový, typicky podélný svar pro svařované potrubí, resp. potrubí se švem. V opačném případě se jeho hodnota rovná jedné. Více o hodnotě  $z$  pojednává literatura [16] ve své podkapitole 4.5 a literatura [18] ve své podkapitole 8.3.

Preferovaná řada tlouštěk stěny pro jednotlivá DN je k nalezení v normě ČSN EN 10253-2, dále jako literatura [14], ve své podkapitole 11.1.6. Dále jsou v literatuře [14] definovány výpočty pro rozměry tvarovek tlakového potrubí (kolena, T-kusy, redukce, dna, apod.) společně s jejich vhodnými rozměry, které jsou rozděleny podle využitelnosti materiálu.

Pro každé DN je definováno až 8 různých tlouštěk potrubí. Pro ilustraci je uvedena tabulka 6-1. Obvykle se jako nejmenší tloušťka stěny udává řada 2, kdy řada 1 se používá většinou pro svařované potrubí. Pro výpočet byly použity řady tlouštěk 2 a více.

DN	D <sub>0</sub> [mm]	Preferovaná řada tloušťek $e_{ord}$ [mm]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
25	33,7	XXX	2,6	3,2	4,0	4,5	5,6	6,3	8,8
32	42,4	XXX	2,6	3,6	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
40	48,3	XXX	2,6	3,6	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
50	60,3	XXX	2,9	3,6	4,0	5,6	7,1	8,8	11,0
65	76,1	XXX	2,9	3,6	5,6	7,1	8,0	10,0	14,2
80	88,9	XXX	3,2	4,0	5,6	8,0	8,8	11,0	16,0
100	114,3	XXX	3,6	4,5	6,3	8,8	11,0	14,2	17,5
125	139,7	XXX	4,0	5,0	6,3	10,0	12,5	16,0	20,0
150	168,3	4,0	4,5	5,6	7,1	11,0	14,2	17,5	22,2
200	219,1	4,5	6,3	7,1	8,0	12,5	16,0	17,5	22,2
250	273,0	5,0	6,3	8,8	10,0	12,5	16,0	22,2	30,0

Tabulka 6-1 - Preferované průměry a tloušťky stěn ČSN EN 10253-2

Literatura [14] definuje hodnoty  $e_{ord}$ , tzv. objednané tloušťky stěny potrubí. Za provozu, po uplynutí určité doby od výroby, je však nutné předpokládat odchylku od počátečních hodnot tloušťky stěny z důvodu opotřebování jednotlivých komponent. Proto byla pro výpočet zvolena kritičtější cesta a hodnota  $e_{skut}$  byla vypočítána pomocí výrazu (6.10). Detailnější výpočet lze najít v literatuře [16] ve své podkapitole 4.3.

$$e_{skut} = e_{ord} - c_0 - c_1 - c_2 - \varepsilon \text{ [mm]} \quad (6.10)$$

$$T_0 = e_{ord} - c_1 - c_2 - \varepsilon \text{ [mm]} \quad (6.11)$$

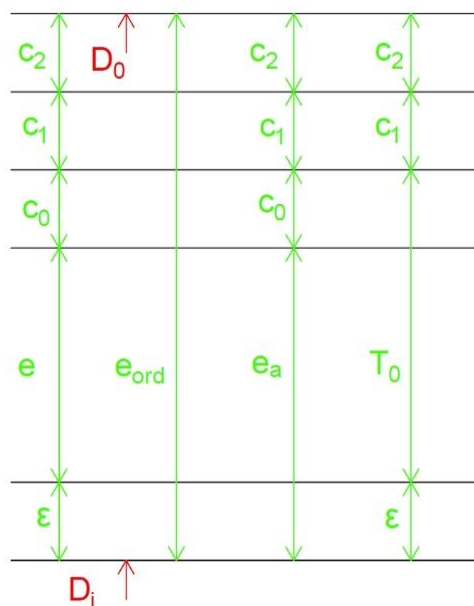
Hodnota  $c_0$  je korozní a erozní přírůstek, o kterou se může tloušťka stěny potrubní trasy zmenšit během své projektové životnosti. Po odborné konzultaci byla pro nízko, středně a vysoko legované oceli stanovena jeho velikost rovna 1 mm.

Hodnota  $c_1$  je absolutní hodnota záporné úchytky. Dopotčítává se pomocí výrazů v literatuře ČSN EN 10216-2 ve své podkapitole 8.7.4.1.

Vnější průměr D <sub>0</sub> [mm]	Mezní úchytky stěny T pro poměr T/D			
	≤ 0,025	> 0,025 ≤ 0,050	> 0,050 ≤ 0,100	> 0,100
≤ 219,1	max { 12,5 % · D <sub>0</sub> ; 0,04 mm }			
> 219,1	20 % · D <sub>0</sub>	15 % · D <sub>0</sub>	12,5 % · D <sub>0</sub>	10 % · D <sub>0</sub>

Tabulka 6-2 - Mezní úchytky tloušťky stěny ČSN EN 10216-2

Hodnota  $c_2$  je přírůstek, o který může být potrubí ztenčeno během výroby. Tento přírůstek se započítává při výrobě ohybem, kování, apod. Hodnota  $\varepsilon$  udává přírůstek materiálu určenou výrobcem. V provedeném výpočtu tloušťky stěny přímého potrubí nebyly členy  $c_2$  a  $\varepsilon$  uvažovány.



Obrázek 6-5 - Znázornění jednotlivých přídavků vůči tloušťce stěny [16]

Dimenzace tloušťky stěny pro každou kombinaci byla provedena tak, že byla zvětšována tloušťka stěny podle preferované řady tlouštěk (hodnot  $e_{ord}$ ) z tabulky 6-1, dokud nebyla splněna všechna tři kritéria (6.12), (6.13) a (6.14).

$$e_{min} < e_{skut} \quad (6.12)$$

$$T_{0min} < T_0 \quad (6.13)$$

$$p_{c,max} > p_c \quad (6.14)$$

Ze vztahů (6.12) až (6.14) lze pozorovat, že každá dimenzace tloušťky stěny bude uznána za vhodnou, pokud všechny bezpečnosti budou větší než 1. V krajním případě může dojít k situaci, kdy všechny hodnoty (6.15) až (6.17) budou o několik setin větší než 1. To by se z konstrukčního hlediska mohlo jevit jako nevyhovující, ale už výpočet samotných hodnot maximálního dovoleného napětí v sobě obsahuje určitou minimální bezpečnost, viz podkapitola 3.1. Proto byl celý výpočet koncipován pro splnění výrazů (6.12) až (6.14), kde dojde k maximálnímu využití tloušťky stěny přímého potrubí.

$$b_{e-EN} = \frac{e_{skut}}{e_{min}} [-] \quad (6.15)$$

$$b_{T-EN} = \frac{T_0}{T_{0min}} [-] \quad (6.16)$$

$$b_{p-EN} = \frac{p_{c,max}}{p_c} [-] \quad (6.17)$$

### 6.1.2 Provedení a shrnutí výpočtu tloušťky stěny podle EN

Pro ukázkou je uveden na obrázku 6-6 výpočet z excelovského souboru, ze kterého bylo následně provedeno rozdělení potrubních tříd a podtříd s příslušnými tloušťkami stěny přímého potrubí.

Obrázek 6-7 ukazuje rozdělení materiálu 10CrMo9-10 na podtřídy, kdy jednotlivé potrubní třídy jsou označeny příslušným tlakoteplotním stupněm PN a do podtříd jsou rozděleny teplotním omezením.

Některé potrubní třídy mají u sebe poznámku „Nevyhovuje“. Ta znamená, že z normalizovaných tloušťek stěny nedosahuje žádná dostatečné hodnoty, aby pevnostně splnila podmínky z podkapitoly 6.1.1. Projektant musí navrhnout vlastní tloušťku potrubí pro tyto vysoké parametry, čímž se zvyšuje bezpečnostní kontrola.

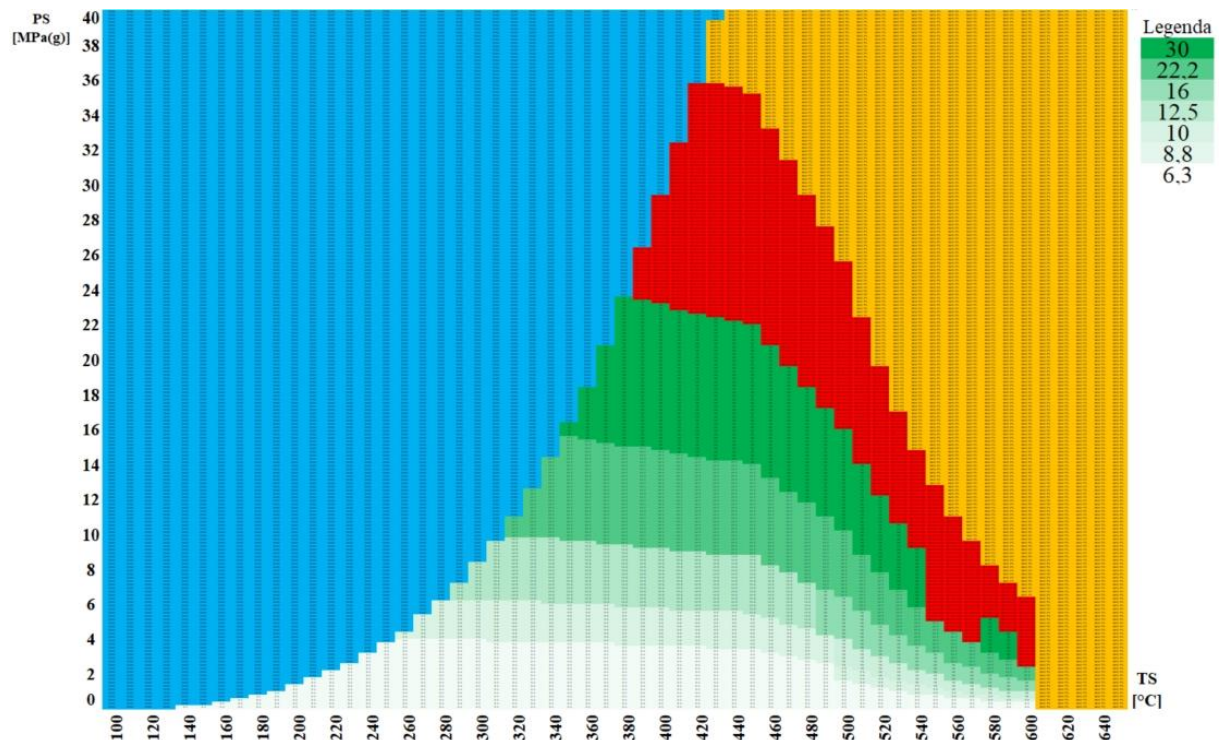
Přehledová mapa s jednotlivými parametry na ose x a y si pomocí vhodného algoritmu přiřadila příslušnou tloušťku stěny přímého potrubí. Výsledek pro materiál 10CrMo9-10 a DN 250 je možné nalézt na obrázku 6-8.

Materiál	PN	Teplota	výpočtový přetlak	DN	Vyhovuje/ nevhovuje	ČSN EN 10216-2, 8.7.4.1	ČSN EN 10216-2, 8.7.4.1 ČSN EN 10253-2, 11.1.6	ČSN EN 10253-2, Tabulka 17	ČSN EN 13480-3, 4.6.1	stanovuje se vzhledem k obvyklé 0	ČSN EN 13480-3, 4.6.1	ČSN EN 13480-3, 4.6.1	ČSN EN 10216-2, 8.3	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1	ČSN EN 13480-3, 6.1
						absolutní hodnota záporné odchylky z normy materiálu	objednaná tloušťka	preferované průměry a tloušťky stěn	analýzovaná tloušťka pevnostně kontrolované potrubní části	přídavná tloušťka	minimální požadovaná tloušťka pro odtah tlaku bez přísavky	součet bodový součet	dovozená namáhání	Č <sub>D/D&lt;-1.7</sub>	minimální požadovaná tloušťka stěny při maximálním přetlaku na konci životnosti	minimální tloušťka pro odtah tlaku bez přísavky na konci životnosti	kontrola e <sub>min</sub>	bezpečnost [-]			
10CrMo9-10	250	490	17,260	150	VYHOVUJE	12,50%	17,5	7	14,31	0	14,31	1	93,333	PLATI	14,245	14,313	VYHOVUJE	1,005			
10CrMo9-10	250	490	17,260	200	VYHOVUJE	12,50%	22,2	8	18,43	0	18,43	1	93,333	PLATI	18,544	18,425	VYHOVUJE	1,041			
10CrMo9-10	250	490	17,260	250	VYHOVUJE	10,00%	30,0	8	26,00	0	26,00	1	93,333	PLATI	23,106	26,000	VYHOVUJE	1,125			
10CrMo9-10	250	500	16,070	25	VYHOVUJE	12,50%	5,6	6	3,90	0	3,90	1	82,667	PLATI	2,985	3,900	VYHOVUJE	1,306			
10CrMo9-10	250	500	16,070	32	VYHOVUJE	12,50%	6,3	6	4,51	0	4,51	1	82,667	PLATI	3,756	4,513	VYHOVUJE	1,201			
10CrMo9-10	250	500	16,070	40	VYHOVUJE	12,50%	6,3	6	4,51	0	4,51	1	82,667	PLATI	4,279	4,513	VYHOVUJE	1,055			
10CrMo9-10	250	500	16,070	50	VYHOVUJE	12,50%	8,8	7	6,70	0	6,70	1	82,667	PLATI	5,342	6,700	VYHOVUJE	1,254			
10CrMo9-10	250	500	16,070	65	VYHOVUJE	12,50%	10,0	7	7,75	0	7,75	1	82,667	PLATI	6,741	7,750	VYHOVUJE	1,150			
10CrMo9-10	250	500	16,070	80	VYHOVUJE	12,50%	11,0	7	8,63	0	8,63	1	82,667	PLATI	7,875	8,625	VYHOVUJE	1,095			
10CrMo9-10	250	500	16,070	100	VYHOVUJE	12,50%	14,2	7	11,43	0	11,43	1	82,667	PLATI	10,126	11,425	VYHOVUJE	1,126			
10CrMo9-10	250	500	16,070	125	VYHOVUJE	12,50%	16,0	7	13,00	0	13,00	1	82,667	PLATI	12,376	13,000	VYHOVUJE	1,050			
10CrMo9-10	250	500	16,070	150	VYHOVUJE	12,50%	22,2	8	18,43	0	18,43	1	82,667	PLATI	14,909	18,425	VYHOVUJE	1,236			
10CrMo9-10	250	500	16,070	200	VYHOVUJE	12,50%	22,2	8	18,43	0	18,43	1	82,667	PLATI	19,409	18,425	VYHOVUJE	1,041			
10CrMo9-10	250	500	16,070	250	VYHOVUJE	10,00%	30,0	8	26,00	0	26,00	1	82,667	PLATI	24,184	26,000	VYHOVUJE	1,075			
10CrMo9-10	250	510	14,040	25	VYHOVUJE	12,50%	5,6	6	3,90	0	3,90	1	72,000	PLATI	2,994	3,900	VYHOVUJE	1,303			
10CrMo9-10	250	510	14,040	32	VYHOVUJE	12,50%	6,3	6	4,51	0	4,51	1	72,000	PLATI	3,767	4,513	VYHOVUJE	1,198			
10CrMo9-10	250	510	14,040	40	VYHOVUJE	12,50%	6,3	6	4,51	0	4,51	1	72,000	PLATI	4,291	4,513	VYHOVUJE	1,052			
10CrMo9-10	250	510	14,040	50	VYHOVUJE	12,50%	8,8	7	6,70	0	6,70	1	72,000	PLATI	5,357	6,700	VYHOVUJE	1,251			
10CrMo9-10	250	510	14,040	65	VYHOVUJE	12,50%	10,0	7	7,75	0	7,75	1	72,000	PLATI	6,761	7,750	VYHOVUJE	1,146			
10CrMo9-10	250	510	14,040	80	VYHOVUJE	12,50%	11,0	7	8,63	0	8,63	1	72,000	PLATI	7,888	8,625	VYHOVUJE	1,092			
10CrMo9-10	250	510	14,040	100	VYHOVUJE	12,50%	14,2	7	11,43	0	11,43	1	72,000	PLATI	10,154	11,425	VYHOVUJE	1,125			
10CrMo9-10	250	510	14,040	125	VYHOVUJE	12,50%	16,0	7	13,00	0	13,00	1	72,000	PLATI	12,411	13,000	VYHOVUJE	1,047			
10CrMo9-10	250	510	14,040	150	VYHOVUJE	12,50%	22,2	8	18,43	0	18,43	1	72,000	PLATI	14,951	18,425	VYHOVUJE	1,232			
10CrMo9-10	250	510	14,040	200	VYHOVUJE	12,50%	22,2	8	18,43	0	18,43	1	72,000	PLATI	19,454	18,425	VYHOVUJE	1,041			
10CrMo9-10	250	510	14,040	250	VYHOVUJE	10,00%	30,0	8	26,00	0	26,00	1	72,000	PLATI	24,253	26,000	VYHOVUJE	1,072			

Obrázek 6-6 - Ukázka pracovního souboru pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí podle norem EN v závislosti na typu oceli, teplotě a DN

DN	PN	Teplota do	Tloušťka stěny	Preferované průměry a tloušťky stěn	Vyhovuje/ nevhovuje
[-]	[-]	[°C]	[mm]	[-]	[-]
250	2,5	600	6,3	2	Vyhovuje
250	6	600	6,3	2	Vyhovuje
250	10	600	6,3	2	Vyhovuje
250	16	600	6,3	2	Vyhovuje
250	25	600	6,3	2	Vyhovuje
250	40	490	6,3	2	Vyhovuje
250	40	600	8,8	3	Vyhovuje
250	63	490	8,8	3	Vyhovuje
250	63	600	10,0	4	Vyhovuje
250	100	480	12,5	5	Vyhovuje
250	100	600	16,0	6	Vyhovuje
250	160	600	22,2	7	Vyhovuje
250	250	540	30,0	8	Vyhovuje
250	250	570	30,0	8	Nevyhovuje
250	250	590	30,0	8	Vyhovuje
250	250	600	30,0	8	Nevyhovuje
250	320	600	30,0	8	Nevyhovuje
250	400	600	30,0	8	Nevyhovuje

Obrázek 6-7 - 10CrMo9-10 – DN 250 – Ukázka rozdělení na potrubní třídy při výpočtu podle norem EN



Obrázek 6-8 - 10CrMo9-10 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů

Při pohledu na obrázek 6-8 je možné pozorovat určitý paradox. Pro výpočtové parametry páry přibližně 4 MPa(g) a 590 °C je z hlediska pevnostní kontroly vyhovující tloušťka stěny přímého potrubí 30 mm. Nicméně pro parametry páry 4 MPa(g) a 570 °C vychází výsledek jako nevyhovující, ačkoli se jedná o stejný tlakoteplotní stupeň, resp. potrubní třídu. Jelikož parametry páry klesly, může tento výsledek vyvolávat pochybnosti nad správností výpočtu.

Může také vzniknout podobný paradox. Pracovní přetlak páry je uvažován jako konstantní. S klesající teplotou pracovního parametru páry je někdy zapotřebí větší tloušťka stěny přímého potrubí než pro případ s větší teplotou pro daný tlakoteplotní stupeň. Tento paradox je možné nalézt v elektronické verzi této práce.

Nicméně se nejedná o chybu. Zde je nutné připomenout, že výpočtové hodnoty tloušťky stěny přímého potrubí jsou dány tlakoteplotními stupni. Určení tlakoteplotního stupně pro parametry páry je takové, že podle teploty média je přiřazen tlakoteplotní stupeň, jehož výpočtová hodnota vnitřního přetlaku je nejbližší vyšší hodnota než skutečný přetlak média. Tím vzniká určité předimenzování oproti skutečným parametrům páry. Hodnota výpočtového přetlaku tlakoteplotního stupně s klesající teplotou roste. Stejně tak s klesající teplotou rostou i mechanické vlastnosti materiálu (maximální dovolené napětí). Pokud však hodnota výpočtového přetlaku roste rychleji než maximálního dovoleného napětí daného materiálu, je zapotřebí větší tloušťka stěny přímého potrubí a dochází k vytvoření tohoto paradoxu.

Z pohledu najížděcích procesů, kdy lze uvažovat vnitřní přetlak páry konstantní, ale teplotu menší než výpočtovou, se také nejedná o vážný problém. Pokud je trasa nadimenzována na pracovní parametry a dojde pouze k poklesu teploty, dojde zároveň k nárůstu maximálního dovoleného napětí v materiálu a bezpečnost dané komponenty se zvýší.

Vzhledem k tomu, že k tomuto paradoxu dochází relativně často (při pohledu na přehledové mapy uvedené v příloze v elektronické verzi), je konstatováno, že použité tlakoteplotní stupně

EN nejsou dokonale optimalizovány pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí, resp. pro definici potrubní třídy, ačkoli v mnoha ohledech je lze považovat za dostačující.

### 6.1.3 Teorie výpočtu tloušťky stěny potrubí podle ASME

Norma ASME B31.1, dále jako literatura [2], definuje ve své části 104 návrh potrubních komponent tlakových systémů podle norem ASME. Pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí slouží podkapitola 104.1. Zde je definován vzorec (6.18) pro výpočet minimální tloušťky stěny s přídatkem  $t_{min}$  a vzorec (6.19) pro výpočet maximálního možného přetlaku  $P_{max}$ .

$$t_{min} = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (SE \cdot W + P \cdot y)} + A \text{ [mm]} \quad (6.18)$$

$$P_{max} = \frac{2 \cdot SE \cdot W \cdot (t_m - A)}{D_0 - 2 \cdot y \cdot (t_m - A)} \text{ [MPa]} \quad (6.19)$$

Hodnota  $P$  udává velikost vnitřního přetlaku v potrubí a její stanovení je k nalezení v podkapitole 4.3.2. Hodnota  $SE$  udává velikost maximálního dovoleného namáhání a její stanovení je k nalezení v kapitole 3.

Hodnota  $A$  udává přídatkem materiálu vzhledem ke koroznímu a eroznímu úbytku a jiným technologickým úpravám. Po odborné konzultaci byla pro nízko, středně a vysoko legované oceli stanovena jeho velikost rovna jedné.

Součinitel  $W$  udává korekci výpočtu tloušťky stěny potrubí podle ASME vzhledem k podélně svařovanému potrubí, resp. potrubí, které není bezešvé. Součinitel je podrobně definován ve zdroji [2] v podkapitole 102.4.7. Lze konstatovat, že zde jsou uvedeny různé hodnoty tohoto součinitele v závislosti na teplotě (od 427 °C výše) a na typu oceli (legované feritické a austenitické oceli). Jeho hodnota se vzrůstající teplotou postupně klesá od čísla 1 směrem k 0,5.

Součinitel  $y$  udává korekci výpočtu tloušťky stěny potrubí podle ASME. Je podrobně definován ve zdroji [2] v tabulce 104.1.2-1. Lze konstatovat, že jsou zde uvedeny jeho různé hodnoty v závislosti na teplotě a na typu oceli (feritická nebo austenitická) nebo pro jiné neželezné kovy a slitiny. Jeho hodnota se obvykle pohybuje mezi čísly 0,4 až 0,7.

Výpočet hodnoty požadované tloušťky stěny  $t_m$  není v normě [2] přesně definován. Pro jeho stanovení byla využita obdoba výrazu (6.11), který definuje tento výpočet podle norem EN se stejným uvažováním všech členů výrazu, které jsou podrobně popsány v podkapitole 6.1.1.

$$t_m = e_{st} - c_1 - c_2 - \varepsilon \text{ [mm]} \quad (6.20)$$

Dimenzace tloušťky stěny potrubí pro každou kombinaci byla provedena tak, že byla zvětšována tloušťka stěny podle preferované řady tlouštěk stěny (hodnot  $e_{st}$ ), dokud nebyla splněna obě kritéria (6.21) a (6.22).

$$t_{min} < t_m \quad (6.21)$$

$$P_{max} > P \quad (6.22)$$

Problematika možné nízké bezpečnosti už byla probrána v podkapitole 6.1.1. Ze stejných důvodů byla tloušťka stěny potrubí dimenzována na co nejnižší hodnotu při splnění podmínek (6.21) a (6.22).



$$b_{t-ASME} = \frac{t_m}{t_{min}} [-] \quad (6.23)$$

$$b_{P-ASME} = \frac{P_{max}}{P} [-] \quad (6.24)$$

Při porovnání výrazů (6.3) spolu s (6.18) a výrazů (6.4) spolu s (6.19) lze říci, že se výpočet tloušťky stěny přímého potrubí podle norem EN od norem ASME relativně neliší, a to až na určení různých korekčních součinitelů, které mají vliv na výsledek. Prostým srovnáním lze obtížně usuzovat, který soubor norem je konzervativnější.

Největší rozdíl mezi výpočtem pomocí norem EN a ASME je ve stanovení preferovaných tloušťek  $e_{st}$ . Pro normy EN je detailnější postup popsán v podkapitole 6.1.1.

Preferovaná tloušťka běžného potrubí podle ASME je stanovena pomocí normy ASME B36.10M, dále jako literatura [3]. V literatuře [3] je možno nalézt přehled všech vyráběných přímých potrubí podle rozměrů ASME od DN 6 až po DN 2000. K nalezení jsou zde hodnoty vnějších rozměrů, tloušťek potrubí a váhy na 1 metr potrubí.

Pro jednotlivé DN se rozděluje řada tloušťek stěny přímého potrubí na tzv. Schedule a Identification. Jednotlivá Schedule normalizují výrobu potrubí do několika kategorií s různou tloušťkou stěny potrubí pro jedno DN. Schedule jsou obvykle číselně označeny od 5 do 160. Dále je zavedeno rozdělení podle Identification. To definuje tři nejběžněji používané Schedule nebo tloušťky stěny (když daná tloušťka nemá označení Schedule). Rozdělení podle Identification určuje tzv. STD potrubí (Standard), XS potrubí (Extra-Strong) a XXS potrubí (Double Extra Strong).

Pro doplnění je zde uvedena existence normy B36.19M, dále jako literatura [4]. Literatura [4] definuje rozměrové řady pro nerezové potrubí, které jsou označovány s příponou „S“ za názvem Schedule. Jejich rozměry se mohou od standartních rozměrů odlišovat. V této práci nerezové potrubí není uvažováno a literatura [4] je zde uvedena pouze jako zajímavost.

Na trhu jsou nejběžněji dostupné tloušťky stěn s označením Identification. Nicméně je možné na trhu sehnat i tloušťky s označením Schedule. Ve výjimečných případech lze na trhu sehnat i takové tloušťky stěn, které jsou v literatuře [3] uvedeny, ale jsou bez označení Identification a ani Schedule. Projektant se musí řídit podle požadavků zákazníka.

DN	NPS	D <sub>0</sub> [mm]	Identification Schedule	...	...	...	...	STD	...	XS	...	...	...	...	XXS
				5	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	...
25	1	33,4	[mm]	1,65	2,77	XXX	2,90	3,38	XXX	4,55	XXX	XXX	XXX	6,35	9,09
32	1 1/4	42,2	[mm]	1,65	2,77	XXX	2,97	3,56	XXX	4,85	XXX	XXX	XXX	6,35	9,70
40	1 1/2	48,3	[mm]	1,65	2,77	XXX	3,18	3,68	XXX	5,08	XXX	XXX	XXX	7,14	10,15
50	2	60,3	[mm]	1,65	2,77	XXX	3,18	3,91	XXX	5,54	XXX	XXX	XXX	8,74	11,07
65	2 1/2	73,0	[mm]	2,11	3,05	XXX	4,78	5,16	XXX	7,01	XXX	XXX	XXX	9,53	14,02
80	3	88,9	[mm]	2,11	3,05	XXX	4,78	5,49	XXX	7,62	XXX	XXX	XXX	11,13	15,24
100	4	114,3	[mm]	2,11	3,05	XXX	4,78	6,02	XXX	8,56	XXX	11,13	XXX	13,49	17,12
125	5	141,3	[mm]	2,77	3,40	XXX	XXX	6,55	XXX	9,53	XXX	12,70	XXX	15,88	19,05
150	6	168,3	[mm]	2,77	3,40	XXX	XXX	7,11	XXX	10,97	XXX	14,27	XXX	18,26	21,95
200	8	219,1	[mm]	2,77	3,76	6,35	7,04	8,18	10,31	12,70	15,09	18,26	20,62	23,01	22,23
DN	NPS	D <sub>0</sub> [mm]	Identification Schedule	...	...	...	...	STD	...	XS	...	...	XXS	...	...
				5	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	...
250	10	273,0	[mm]	3,40	4,19	6,35	7,80	9,27	12,70	15,09	18,26	21,44	25,40	28,58	XXX

Tabulka 6-3 - Preferované průměry a tloušťky stěn podle ASME B36.10M-2004

Při porovnání tabulek 6-1 a 6-3 lze pozorovat určitou zajímavost při volbě tloušťky potrubí. Tloušťky stěn s označením Identification jsou pouze tři, ale svým rozptylem pokrývají téměř celou možnou škálu tlouštěk stěny vyráběného potrubí pro každé DN. Dále je vhodné konstatovat, že je mezi nimi výrazný velikostní rozestup.

Například může nastat situace, kdy při dimenzaci tloušťky stěny na tlakoteplotní parametry jen těsně nevyhovuje velikost STD, je tedy třeba zvolit velikost XS (obdobně platí pro XS a XXS). Dále platí, že velikost STD je větší než některé tloušťky stěn definované jako Schedule a také je větší než některé řady tloušťky stěn definované v normě EN [14]. Navíc tloušťky stěny s označením Identification jsou na trhu nejdostupnější vzhledem k vysoké normalizované výrobě. Tato fakta zajišťují zvýšení bezpečnosti vzhledem k častému a velkému předimenzování tloušťky stěny potrubí na úkor vyšší ceny za kilogram použitého materiálu.

Výběr tloušťky stěny potrubí byl nakonec po odborné konzultaci zvolen tak, že nejmenší možná vybraná tloušťka stěny je tloušťka s označením STD a dále jsou vybírány postupně všechny vyšší Schedule.

#### 6.1.4 Provedení a shrnutí výpočtu tloušťky stěny podle ASME

Pro ukázkou je uveden na obrázku 6-9 výpočtový soubor z Excelu, ze kterého bylo následně provedeno rozdělení potrubních tříd a podtříd s příslušnými tloušťkami stěny přímého potrubí.

Pro ukázkou je uvedeno na obrázku 6-10 rozdělení materiálu A335-P22 na podtřídy, kdy jednotlivé potrubní třídy jsou označeny příslušným tlakoteplotním stupněm CLASS a do podtříd jsou rozděleny teplotním omezením.

Některé potrubní třídy mají u sebe poznámku „Nevyhovuje“. Ta znamená, že z normalizovaných tlouštěk stěny nemá žádná dostatečnou velikost, aby pevnostně splnila podmínky z podkapitoly 6.1.3. Projektant musí navrhnout vlastní tloušťku potrubí pro tyto vysoké parametry, čímž se opět zvyšuje bezpečnostní kontrola.

Přehledová mapa s jednotlivými parametry na ose x a y si pomocí vhodného algoritmu přiřadila příslušnou tloušťku stěny přímého potrubí. Výsledek pro materiál A335-P22 a DN 250 je možné nalézt na obrázku 6-11.

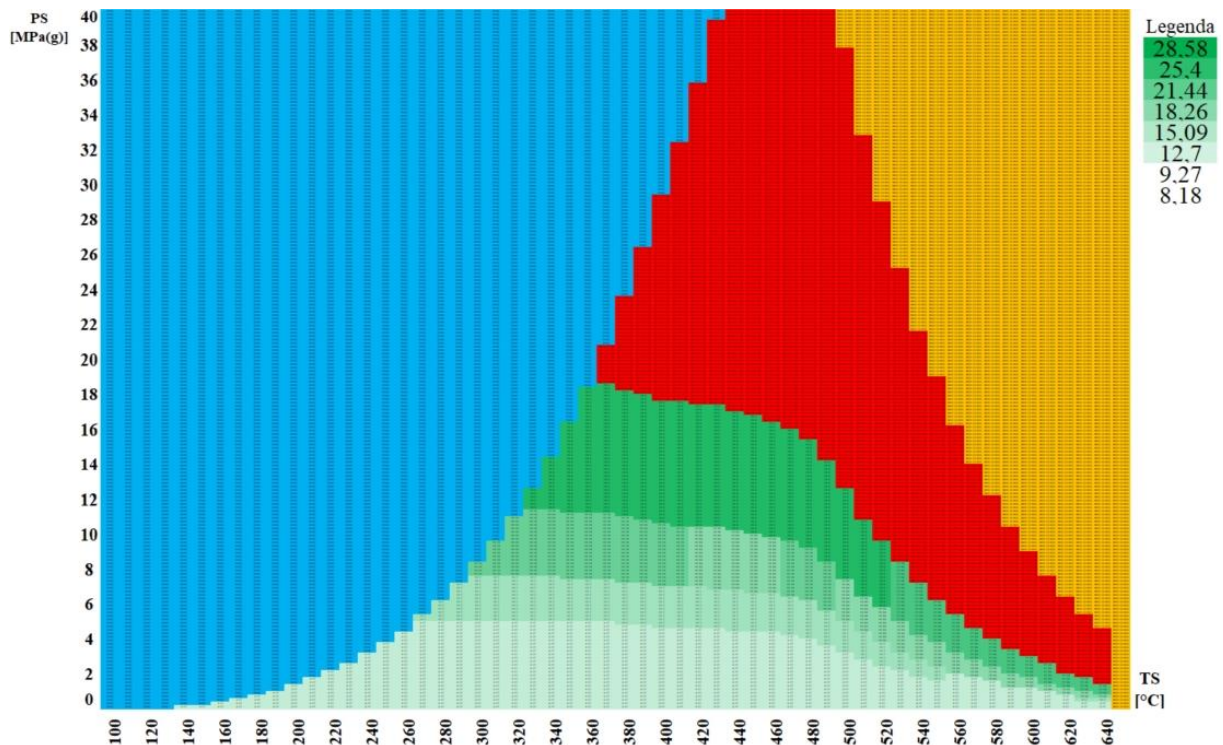
neplňovat ani neubírat sloupce do sloupce P a řádky odřezávat se může

Materiál	Class	Teplota	výpočtový přetlak	DN	NPS	bezdrát/svařované	Vyhovuje/ nevyhovuje	ASME B36.10M-2004	ASME B36.10M-2004	ASME B36.10M-2004	ČSN EN 13480-3_4,6.1	ČSN EN 13480-3_4,6.1	ASME B31.1-2018 - 102.4.1	ASME B31.1-2018 - Table 104.1.2-1	ASME B31.1-2018 - Table 102.4.7-1	2004 ASME Boiler & pressure vessel code II D	ASME B31.1-2018 - 104.1.2 (7)	požadovaná tloušťka stěny po výrobě při maximální možném přetlaku - svařovací tloušťka stěny	minimální tloušťka stěny po výrobě při maximální tloušťce - svařovací tloušťka stěny	minimální tloušťka stěny po výrobě při pracovním přetlaku - svařovací tloušťka stěny	kontrola T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub>	bezpečnost I1
								Identification	Schedule No.	objednaná tloušťka	analyzovaná tloušťka povolená kontrolované potrubní části	požadovaná tloušťka pro odělné tloušťky bez přitvářek	additional thickness	values of y	weld strength reduction factor	dovolená namáhání	SE [MPa]					
[-]	[-]	[°C]	P [MPa]	[-]	[-]	[-]		[-]	[-]	e <sub>ord</sub> [mm]	e <sub>an</sub> [mm]	e [mm]	A [mm]	y [-]	W [-]	SE [MPa]	T <sub>min</sub> [mm]	T <sub>1</sub> [mm]				
A335-P22	1500	490	14,224	125	5	svařované	VYHOVUJE	...	190	15,88	12,90	12,90	1,00	0,50	0,86	88,540	13,070	13,895	VYHOVUJE	1,063		
A335-P22	1500	490	14,224	150	6	svařované	VYHOVUJE	...	190	19,26	14,98	14,98	1,00	0,50	0,86	88,540	15,377	15,978	VYHOVUJE	1,039		
A335-P22	1500	490	14,224	200	8	svařované	VYHOVUJE	...	190	23,01	18,13	18,13	1,00	0,50	0,86	88,540	19,716	20,134	VYHOVUJE	1,021		
A335-P22	1500	490	14,224	250	10	svařované	VYHOVUJE	...	190	28,58	24,72	24,72	1,00	0,50	0,86	88,540	24,320	25,722	VYHOVUJE	1,058		
A335-P22	1500	500	12,611	25	1	svařované	VYHOVUJE	XS	80	4,55	2,98	2,98	1,00	0,50	0,86	80,900	3,775	3,981	VYHOVUJE	1,056		
A335-P22	1500	500	12,611	32	1 1/4	svařované	VYHOVUJE	...	190	6,35	4,56	4,56	1,00	0,50	0,86	80,900	4,507	5,556	VYHOVUJE	1,233		
A335-P22	1500	500	12,611	40	1 1/2	svařované	VYHOVUJE	...	190	7,14	5,25	5,25	1,00	0,50	0,86	80,900	5,014	6,248	VYHOVUJE	1,246		
A335-P22	1500	500	12,611	50	2	svařované	VYHOVUJE	...	190	8,74	6,85	6,85	1,00	0,50	0,86	80,900	6,011	7,648	VYHOVUJE	1,272		
A335-P22	1500	500	12,611	65	2 1/2	svařované	VYHOVUJE	...	190	9,53	7,34	7,34	1,00	0,50	0,86	80,900	7,066	8,339	VYHOVUJE	1,180		
A335-P22	1500	500	12,611	80	3	svařované	VYHOVUJE	...	190	11,13	8,74	8,74	1,00	0,50	0,86	80,900	8,387	9,739	VYHOVUJE	1,161		
A335-P22	1500	500	12,611	100	4	svařované	VYHOVUJE	...	190	13,49	10,80	10,80	1,00	0,50	0,86	80,900	10,498	11,804	VYHOVUJE	1,124		
A335-P22	1500	500	12,611	125	5	svařované	VYHOVUJE	...	190	15,88	12,90	12,90	1,00	0,50	0,86	80,900	12,741	13,895	VYHOVUJE	1,091		
A335-P22	1500	500	12,611	150	6	svařované	VYHOVUJE	...	190	19,26	14,98	14,98	1,00	0,50	0,86	80,900	14,985	15,978	VYHOVUJE	1,066		
A335-P22	1500	500	12,611	200	8	svařované	VYHOVUJE	...	190	23,01	18,13	18,13	1,00	0,50	0,86	80,900	19,296	20,134	VYHOVUJE	1,048		
A335-P22	1500	500	12,611	250	10	svařované	VYHOVUJE	...	190	28,58	24,72	24,72	1,00	0,50	0,86	80,900	23,685	25,722	VYHOVUJE	1,086		
A335-P22	1500	510	10,997	25	1	svařované	VYHOVUJE	XS	80	4,55	2,98	2,98	1,00	0,50	0,86	74,140	3,952	3,981	VYHOVUJE	1,090		
A335-P22	1500	510	10,997	32	1 1/4	svařované	VYHOVUJE	...	190	6,35	4,56	4,56	1,00	0,50	0,86	74,140	4,350	5,556	VYHOVUJE	1,277		
A335-P22	1500	510	10,997	40	1 1/2	svařované	VYHOVUJE	...	190	7,14	5,25	5,25	1,00	0,50	0,86	74,140	4,835	6,248	VYHOVUJE	1,282		
A335-P22	1500	510	10,997	50	2	svařované	VYHOVUJE	...	190	8,74	6,85	6,85	1,00	0,50	0,86	74,140	5,787	7,648	VYHOVUJE	1,321		
A335-P22	1500	510	10,997	65	2 1/2	svařované	VYHOVUJE	...	190	9,53	7,34	7,34	1,00	0,50	0,86	74,140	6,796	8,339	VYHOVUJE	1,227		
A335-P22	1500	510	10,997	80	3	svařované	VYHOVUJE	...	190	11,13	8,74	8,74	1,00	0,50	0,86	74,140	8,058	9,739	VYHOVUJE	1,209		
A335-P22	1500	510	10,997	100	4	svařované	VYHOVUJE	...	190	13,49	10,80	10,80	1,00	0,50	0,86	74,140	10,074	11,804	VYHOVUJE	1,172		
A335-P22	1500	510	10,997	125	5	svařované	VYHOVUJE	...	190	15,88	12,90	12,90	1,00	0,50	0,86	74,140	12,218	13,895	VYHOVUJE	1,137		

Obrázek 6-9 - Ukázka pracovního souboru pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí podle norem ASME v závislosti na typu oceli, teplotě a DN

DN	Class	Teplota do	Tloušťka stěny	Identifikation	Vyhovuje/ nevyhovuje	Schedule No.
[-]	[-]	[°C]	[mm]	[-]	[-]	[-]
250	Class 150	640	9,27	STD	Vyhovuje	40
250	Class 300	640	9,27	STD	Vyhovuje	40
250	Class 400	640	9,27	STD	Vyhovuje	40
250	Class 600	550	12,70	XS	Vyhovuje	60
250	Class 600	620	9,27	STD	Vyhovuje	40
250	Class 600	640	12,70	XS	Vyhovuje	60
250	Class 900	410	18,26	...	Vyhovuje	100
250	Class 900	460	15,09	...	Vyhovuje	80
250	Class 900	490	18,26	...	Vyhovuje	100
250	Class 900	640	15,09	...	Vyhovuje	80
250	Class 1500	520	25,40	XXS	Vyhovuje	140
250	Class 1500	640	21,44	...	Vyhovuje	120
250	Class 2500	640	28,58	...	Nevyhovuje	160
250	Class 4500	640	28,58	...	Nevyhovuje	160

Obrázek 6-10 – A335-P22 – DN 250 – Ukázka rozdělení na potrubní třídy při výpočtu podle norem ASME



Obrázek 6-11 - A335-P22 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů

Na obrázku můžeme pozorovat stejný paradox, který je zmíněn na konci podkapitoly 6.1.2. K tomuto jevu dochází téměř u všech tlakoteplotních stupňů ASME napříč všemi rozměry. Opět je tedy možné konstatovat, že ani použité tlakoteplotní stupně ASME nejsou dokonale optimalizovány pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí, resp. pro definici potrubní třídy, ačkoli v mnoha ohledech je lze považovat za dostačující.

## 6.2 Ocenění pracnosti svařování

Každé kombinaci skupiny materiálů (viz tabulka 3-2), vnějšího průměru potrubí (EN i ASME) a tloušťky stěny potrubí byla přiřazena příslušná WPQR vlastněná firmou DSPW, která by později mohla být použita pro tvorbu konkrétní WPS. Z dat ve WPQR byly čerpány hodnoty potřebné pro výpočet. Přiřazením WPQR k dané kombinaci byla získána informace o typu tupého svaru (I, V, W), jednotlivé metodě svařování (111 a 141), dále ilustrativní přehled o počtu svarových vrstev a housenek, množství vneseného tepla, průtok ochranného plynu (metoda 141), teplota předehřevu, interpass, hodnoty PWHT (včetně maximální rychlosti změny teploty) a hodnoty pro sušení elektrod (metoda 111).

Některé hodnoty byly zadány přímo pomocí WPQR nebo byly uvedeny v záznamech z průběhu zkoušky pro udělení certifikátu. V případě, že tyto hodnoty nebyly uvedeny, bylo nutné je dopočítat nebo zvolit na základě určité podobnosti s jinými WPQR.

Normativní předpis	DN	D <sub>0</sub>	tloušťka stěny	Fačs tloušťky stěny	Schedule	Identification	vrstva - počet hosenek - kosačná volba	metoda - dráh	rychlost posuvu	Ø drátu	název příř. drátu	% z celkového objemu zabere 2. vrstva	Celkový objem 2. vrstvy	Celkový objem jedné hosenky	Doba svařování 2. vrstvy	Množství spotřebovaného drátu 2. vrstvy	Množství ochranného plynu na 2. vrstvu	Q <sub>el</sub>	Spotřeba elektrické energie během čistého svařování vrstvy 2	Aktivní čas z celkové doby svařování 2. vrstvy, kdy se použije svařovalo	Celková doba svařování naprázdno během svařování vrstvy 2
EN	25	33,7	2,60	2	XXX	XXX	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	50,00%	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí
EN	25	33,7	3,20	3	XXX	XXX	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	0,00%	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána
EN	25	33,7	4,00	4	XXX	XXX	1	141	35,14	2,0	Thessen Thermanit MTS 3	50,00%	1 301,81	1 301,81	3,01	414,38	0,65	0,71	0,03	47,24%	3,37
EN	25	33,7	4,50	5	XXX	XXX	1	141	35,14	2,0	Thessen Thermanit MTS 3	50,00%	1 428,86	1 428,86	3,01	454,82	0,65	0,71	0,03	47,17%	3,37
EN	25	33,7	5,60	6	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	1 256,56	628,28	3,26	277,76	1,49	0,87	0,09	47,04%	3,67
EN	25	33,7	6,30	7	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	1 477,94	738,97	3,26	326,70	1,49	0,87	0,09	46,98%	3,68
EN	25	33,7	8,80	8	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	2 416,84	1 208,42	3,26	534,24	1,49	0,87	0,09	46,78%	3,71
EN	32	42,4	2,60	2	XXX	XXX	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	50,00%	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	
EN	32	42,4	3,60	3	XXX	XXX	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	0,00%	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána	Vrstva není přeepsána
EN	32	42,4	4,00	4	XXX	XXX	1	141	35,14	2,0	Thessen Thermanit MTS 3	50,00%	1 717,81	1 717,81	3,79	546,79	0,82	0,71	0,04	47,13%	4,25
EN	32	42,4	4,50	5	XXX	XXX	1	141	35,14	2,0	Thessen Thermanit MTS 3	50,00%	1 797,73	1 797,73	3,79	572,23	0,82	0,71	0,04	47,09%	4,26
EN	32	42,4	5,00	5	XXX	XXX	1	141	35,14	2,0	Thessen Thermanit MTS 3	50,00%	1 997,55	1 997,55	3,79	635,83	0,82	0,71	0,04	46,98%	4,28
EN	32	42,4	6,30	6	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	1 859,48	929,74	4,10	411,04	1,88	0,87	0,11	46,85%	4,65
EN	32	42,4	8,00	7	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	2 651,05	1 315,52	4,10	581,59	1,88	0,87	0,11	46,67%	4,68
EN	32	42,4	10,00	8	XXX	XXX	2	141	65,00	2,4	Thessen Thermanit MTS 3	25,00%	3 711,52	1 855,66	4,10	820,38	1,88	0,87	0,11	46,46%	4,72
EN	40	48,3	2,60	1	XXX	XXX	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	50,00%	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	WPQR chybí	

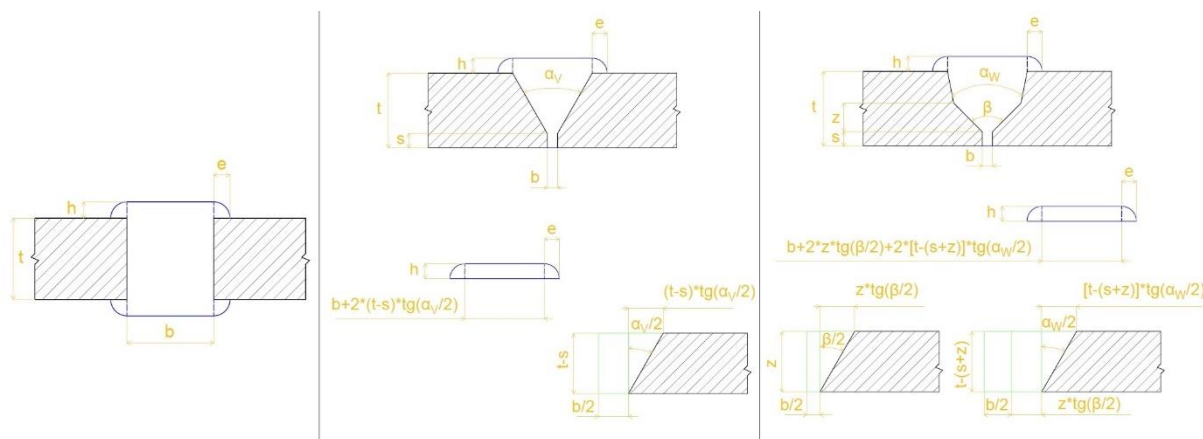
Obrázek 6-12 - Ukázka výpočtového souboru pracnosti svařovacího procesu pro skupinu materiálů 6.4

### 6.2.1 Objemové množství svarového spoje

Při výpočtu velikosti svarového spoje, který je vyplněn svarovým materiálem, bylo zapotřebí určit pro typy tupého svaru I, V a W. Výpočet množství bylo možno provést pomocí zdroje [39], nicméně pro velký počet kombinací byl vytvořen vlastní výpočet, který byl se zdrojem [39] pro kontrolu porovnáván.

Obrázek 6-13- Kalkulátor pro výpočet svarového spoje [39]

Výpočet množství svarového spoje pro tupý I, V a W svar lze nalézt ve výrazech (6.26), (6.27) a (6.28). Problematické může být určení množství svarového kovu nad vyplněním povrchem svaru. Jeho velikost je však zanedbatelná vůči celkovému objemu a pro výpočet byl použit zpřesňující koeficient na základě porovnání s odkazem [39].



Obrázek 6-14 - Nákrsky pro výpočet množství svarového spoje podle typu přípravy spoje (po řadě I, V, W)

$$L = \pi \cdot D_0 \text{ [mm]} \quad (6.25)$$

$$V_I = L \cdot \left[ b \cdot t + 2 \cdot \left( b \cdot h + 2 \cdot \frac{\pi \cdot e \cdot h}{4} \right) \cdot 0,82 \right] \text{ [mm]} \quad (6.26)$$

$$V_V = L \cdot \left[ b \cdot t + (t - s)^2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha_V}{2}\right) \right] + L \cdot \left\{ h \cdot \left[ b + 2 \cdot (t - s) \cdot \tan\left(\frac{\alpha_V}{2}\right) \right] + 2 \cdot \frac{\pi \cdot e \cdot h}{4} \right\} \cdot 0,72 \text{ [mm]} \quad (6.27)$$

$$V_W = L \cdot b \cdot t + L \cdot z^2 \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2 \cdot L \cdot [t - (s + z)] \cdot z \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) + L \cdot [t - (s + z)]^2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha_W}{2}\right) + L \cdot \left\{ h \cdot \left[ b + 2 \cdot z \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2 \cdot (t - (s + z)) \cdot \tan\left(\frac{\alpha_W}{2}\right) \right] + 2 \cdot \frac{\pi \cdot e \cdot h}{4} \right\} \cdot 0,72 \text{ [mm]} \quad (6.28)$$

Pracnost a cena za přípravu svarového úkosu byla v analýze zohledněna pouze přidáním času svářečského úkonu.

## 6.2.2 Výpočet jednotlivých hodnot samostatného svařovacího procesu

Pro jeden svar byl určen počet vrstev a v nich počet jednotlivých housenek na základě nákresu, který byl uveden ve WPQR a po konzultaci s odborným pracovníkem. Každá vrstva měla určenou svoji metodu svařování, rychlost posuvu, průměr elektrody nebo přídatného drátu. Celkový počet svarových vrstev byl volen do maximálního počtu čtyř pro libovolnou kombinaci vnějšího průměru a tloušťky stěny. Jednotlivým vrstvám byla přidělena procentuální část z celkového objemového množství svarového spoje. Každá vrstva mohla obsahovat více housenek, kdy jejich množství bylo určeno na základě nákresu ve WPQR. V případě, že tloušťka stěny byla vysoká a vyžadovala více vrstev než čtyři, bylo uvažováno, že se předešlé vrstvy opakují a lineárně se tedy zvyšoval počet housenek v jedné vrstvě. Index  $i$  vyjadřuje výpočet pro jednu konkrétní vrstvu.

Při výpočtu bylo uvažováno, že rychlost posuvu svařování jednotlivých vrstev je konstantní. Hodnota byla určena přímo zaznamenáním během provedení zkoušek pro vystavení WPQR.

V případě, že hodnota nebyla určena, bylo zapotřebí ji dopočítat pomocí výrazu (6.30). Výraz (6.29) je definovaný v literatuře [10] a hodnoty  $k$  se liší podle metody svařování.

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v_i} [kJ \cdot mm^{-1}] \quad (6.29)$$

$$v_i = k \cdot \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot Q} \cdot 60 [mm \cdot min^{-1}] \quad (6.30)$$

Výpočet čisté doby svařování jedné vrstvy, tj. bez pomocných operací, je uveden ve výrazu (6.31), kdy je uvažována konstantní rychlost posuvu pro celou jednu vrstvu. Objemové množství svarového drátu je důležité z toho hlediska, že cena svarového drátu je uvažována v Kč/kg podle katalogu [28].

$$\tau_i = \frac{L}{v_i} \cdot n_{i\_hours} [min] \quad (6.31)$$

$$V_i = V \cdot \% \text{ odpovídající z celku} \rightarrow V_{i-1\_hours} = \frac{V_i}{n_{i\_hours}} [mm^3] \quad (6.32)$$

V případě použití svařovací metody 141 musí být použit ochranný plyn v podobě čistého argonu. Pomocí hodnot z WPQR byl specifikován jeho průtok a zdali má být ochranný plyn použit také u kořene či nikoli. Celkové množství ochranného plynu na jednu vrstvu je určeno výrazy (6.33) až (6.35).

$$Q_{plyn-svar-i} = \frac{Q_{plyn}}{60} \cdot \tau_i [l] \quad (6.33)$$

$$Q_{plyn-kořen-i} = \frac{Q_{plyn}}{60} \cdot \tau_i [l] \quad (6.34)$$

$$Q_{plyn-i} = Q_{plyn-svar-i} + Q_{plyn-kořen-i} [l] \quad (6.35)$$

Výpočet velikosti spotřebované elektrické energie na vytvoření elektrického oblouku pro svaření jedné vrstvy je určen výrazem (6.36).

$$E_i = \frac{Q \cdot \pi \cdot D_0 \cdot n_{i\_hours} \cdot \tau_i}{\tau_i \cdot 60 \cdot k} \cdot \frac{\tau_i}{60} [kW \cdot hod] \quad (6.36)$$

Během procesu svařování je nutné uvažovat, že svářeč provádí různé pomocné operace (příprava místa, svařovací aparatury, posuny, apod.), které potřebuje pro provedení samotného úkonu svařování. Ty zvyšují dobu provedení jednoho svaru, během kterého ovšem běží svářeči jeho hodinová sazba. Proto byl do výpočtu celkové doby svařování jedné vrstvy uvažován člen zvyšující dobu svařování. Velikost tohoto členu byla stanovena na základě konzultace s odborníky DSPW. Čistá doba svařování byla určena od 25 % do 55 % z celkové doby svařování a její hodnota klesala v závislosti na celkové délce jedné svarové housenky. Pro materiály skupiny 6.4 byla stanovena čistá doba svařování oproti ostatním skupinám o 5 % větší z důvodu předpokládané zvýšené pečlivosti při svařování vysoce legované oceli. Pro výpočet celkové doby svařování jedné vrstvy byly použity výrazy (6.37) a (6.39).

Zároveň se během pomocných operací spotřebuje určité množství elektrické energie. Pro její odhadnutí byl použit výraz (6.38), kdy její velikost byla snížena na 30 % hodnoty čistého

svařování na základě literatury [34]. Celková spotřebovaná energie pro svaření jedné vrstvy je pak vyjádřena výrazem (6.40).

$$\tau_{i-p} = \frac{\tau_i}{AKT_i} \cdot (1 - AKT_i) [min] \quad (6.37)$$

$$E_{i-p} = \frac{Q \cdot \pi \cdot D_0 \cdot n_{i\_hous}}{\tau_i \cdot 60 \cdot k} \cdot \frac{\tau_{i-p}}{60} \cdot 0,3 [kW \cdot hod] \quad (6.38)$$

$$\tau_{i-c} = \tau_i + \tau_{i-p} [min] \quad (6.39)$$

$$E_{i-c} = E_i + E_{i-p} [kW \cdot hod] \quad (6.40)$$

Hodnoty vypočítané pro jednotlivé vrstvy pro jeden konkrétní svar jsou sečteny při uvažování, že jednotlivé vrstvy na sebe navazují. Po odborné konzultaci bylo uvažováno, že efektivní množství použitého drátu pro svařování je 70%, tj. zbylých 30% se považuje za odpad.

### 6.2.3 Výpočet jednotlivých hodnot pomocných procesů svařování

V této kapitole jsou popsány výpočty spojené s pomocnými procesy svařovacího procesu, jako například PWHT, které je nutné provést během svařování, a které způsobují spotřebu elektrické energie nebo se platí určitá sazba za pronájem daného zařízení.

Teplotní svařovací podmínky jsou popsány danou WPQR. Ta může předepisovat teplotu přehřevu, interpassu, maximální možnou rychlost změny teploty nebo teplotní zpracování materiálu potrubí po svařování. Také definuje sušení elektrod, vyžaduje-li to daná metoda. Jednotlivé hodnoty nemohou být v této práci přímo uvedeny, proto je zde pouze principiálně popsán výpočet.

Potrubí jsou obalena dečkami z obou stran svaru, které způsobují ohřátí dané části pomocí elektrického odporu. Dečky jsou obaleny izolací pro zmenšení tepelné ztráty. Objem oceli, který se musí tepelně zpracovat, je uveden ve výrazu (6.41). Z toho byla vždy dopočítána spotřeba elektrické energie, která se přeměnila na teplo. To popisují výrazy (6.42) až (6.45).

$$V_{tr} = \frac{\pi}{4} \cdot [D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot t)^2] \cdot 2 \cdot m = \pi \cdot t \cdot (D_0 - t) \cdot 2 \cdot m [mm^3] \quad (6.41)$$

$$T = \frac{t_{kon} - t_{poč}}{v_T} [hod] \quad (6.42)$$

$$E_T = \rho_{oc} \cdot V_{tr} \cdot 10^{-9} \cdot c_p \cdot 10^3 \cdot (t_{kon} - t_{poč}) [J] \quad (6.43)$$

$$A_T = \frac{E_T}{T \cdot 3600} \cdot \frac{1}{\eta_t} [W] \quad (6.44)$$

$$E_{T-c} = A_T \cdot T \cdot 10^{-3} [kW \cdot hod] \quad (6.45)$$

Žíhací zařízení musí rovněž splňovat podmínku držení stálé teploty v okolí svarového kovu. Zde nelze uvažovat dodané teplo jako výraz (6.43), protože ke změně teploty nedochází. Nicméně výpočet byl proveden tak, že se potřebné teplo dopočítalo z odhadnutého poklesu teploty zaizolovaného potrubí během jedné hodiny a toto teplo muselo být dodáno žíhacím zařízením.



Žíhací zařízení dále musí splňovat podmínku, že udržuje i předepsanou maximální rychlost ohřátí i chladnutí oceli. Zde bylo do celkového výpočtu uvažováno, že během chladnutí nemusí žíhací zařízení dodávat žádné teplo, ale je třeba ponechat žíhací zařízení s izolací na potrubí do vychladnutí spoje na určitou hodnotu kvůli zmenšení rychlosti chladnutí okolí svaru. Zároveň bylo ve výpočtu uvažováno, že během chladnutí oceli z teplot PWHT udržuje žíhací zařízení stálou změnu teploty oceli až do teploty 250 °C. Poté dochází k odpojení žíhacího zařízení a ocel chladne samovolně na teplotu okolí.

Vzhledem ke své konstrukci může žíhací zařízení obsluhovat více svarů najednou. Ve výpočtu pracnosti svařování bylo uvažováno, že žíhací zařízení obsluhuje 3 svary zároveň.

Zařízení na sušení elektrod bylo také započítáváno do spotřeby energie. WPQR definuje teploty a dobu nutnou k sušení. Princip výpočtu jednotlivých energií byl volen obdobně jako výrazy (6.42) až (6.45). Rozdílem zde bylo pouze to, že dané zařízení bylo uvažováno jako velmi dobře izolované a pro udržení sušící teploty je zapotřebí velmi malé množství energie.

#### 6.2.4 NDT

Každá firma, která je certifikována v oblasti NDT zkoušení, disponuje vlastním ceníkem o způsobu provedení NDT zkoušek. Zkoušení jsou naceněna buď na základě ceny jednoho metru svaru, nebo na základě provedené práce na jednom svaru. Některé firmy uvádějí svoji hodinovou sazbu za provedenou práci v případě malého počtu provedených svarů. Proto lze obecně velmi složitě porovnávat pracnost nebo cenu za provedení NDT danou jednotlivými firmami. Navíc může docházet ke zkrácení z hlediska poskytnutí určité množstevní slevy při podepsání kontraktu mezi firmami.

Pro tuto analýzu byly zvoleny jako referenční dvě firmy. První firma provádí NDT v ČR a může zde poskytovat služby firmě DSPW. Ceník této firmy byl nalezen v odkazu [29]. Druhá firma provádí NDT ve Skandinávii a poskytovala NDT služby na nejmenovaném projektu v západní Evropě. Ceník této firmy byl poskytnut firmou DSPW.

Počet kontrolovaných svarů a tím i výsledná cena NDT velmi záleží na způsobu rozdělení svarů do jednotlivých WPS a mezi svářeče, jak je popsáno v podkapitole 5.6. Čím více svarů provádí jeden svářeč, tím více svarů se bude muset kontrolovat podle jejich procentuálního zastoupení. Dále záleží, jestli se jedná o potrubní kategorii A, B, I, II nebo III. Literatura [18] uvádí, že pro potrubní kategorii A a B musí být rozsah NDT vhodný pro zajištění kvality svaru a pro objemové zkoušky je doporučen minimálně 2%.

Procentuální kontrola obvodových svarů, které spadají do potrubních kategorií I, II a III je uvedena v tabulce 5-2. Pro kategorii A bylo na základě doporučení literatury [18] určeno, že pro povrchové zkoušení bylo ke kategorii A přístupováno stejně jako ke kategorii I a pro objemové zkoušení byl rozsah zkoušek stanoven na jednotnou hodnotu 2%. Kategorie B nebyla při výpočtu uvažována.

Pro každý materiál musí být rovněž zohledněno, jestli zadané parametry páry nejsou za teplot, kdy se výrazně projevuje tečení materiálu. To má vliv na procentuální počet provedených NDT na potrubní trase. K určení těchto teplot pro všechny materiály (EN a ekvivalentní ASME) sloužila literatura [13].

Po odborné konzultaci a s přihlédnutím k literatuře [22] byly určeny jednotlivé NDT metody, které by byly provedeny na příslušné potrubní trase. Bylo uvažováno 100 % vizuální zkoušení všech svarů. Pro zkoušení povrchových vad byly do analýzy zahrnuty pouze pracnosti za metodu MT. Ta je na rozdíl od metody PT schopna určit trhlinu i pod zkoumaným celistvým

povrchem. Dále je metoda MT jednodušší z hlediska pracnosti provedení. Další výhodou metody MT oproti PT je, že je cenově levnější. Limitem pro použití MT metody je, že zkoumaná látka musí být magnetická. Pro materiály zkoumané v této práci toto není limitující.

Pro volbu metody mezi RT a UT je rozhodující tloušťka stěny, do 8 mm je volena metoda RT a při větší tloušťce stěny je volena metoda UT. Při probíhání RT metody je nutné, aby se v okolní oblasti zkoumaného svaru nepohybovala žádná osoba vzhledem k nebezpečnému záření. UT metoda je oproti RT metodě preferována z důvodu toho, že je levnější, rychlejší a jednodušší na provedení z hlediska bezpečnosti. Navíc je možná u metody UT používat různé technické způsoby provedení (například metody Phased array [38] nebo TOFD [32]), které mohou zkrátit dobu provedení kontroly svaru a zpřesnit měření.

### 6.3 Přepočítání výsledků na cenu za zhotovení potrubní trasy

Z důvodu firemního tajemství nemohou být skutečné ceny v této práci uvedeny. Pro ilustraci jsou všechny ceny zobrazeny pod porovnávací jednotkou PJ, kdy je zachován poměr mezi cenami, ale jejich skutečná hodnota zůstává neznámá.

Porovnání všech cen bylo provedeno bez započtení DPH, jejíž hodnota se může lišit v různých zemích.

#### 6.3.1 Cena za 1 metr potrubí

Jednotlivé ceny za kilogram potrubí byly získány z dat, které byly poskytnuty firmou DSPW. Cena za stejný materiál potrubí se napříč realizovanými projekty liší, a to z důvodu odlišného dodavatele potrubí nebo poptávky. Proto byla výsledná cena stanovena jako průměr od čtyř různých dodavatelů na celkem sedm realizovaných projektů.

Průměrné ceny za oceli jsou uvedeny v tabulce 6-4. Celková cena za 1 metr potrubí byla vypočtena pomocí výrazu (6.46).

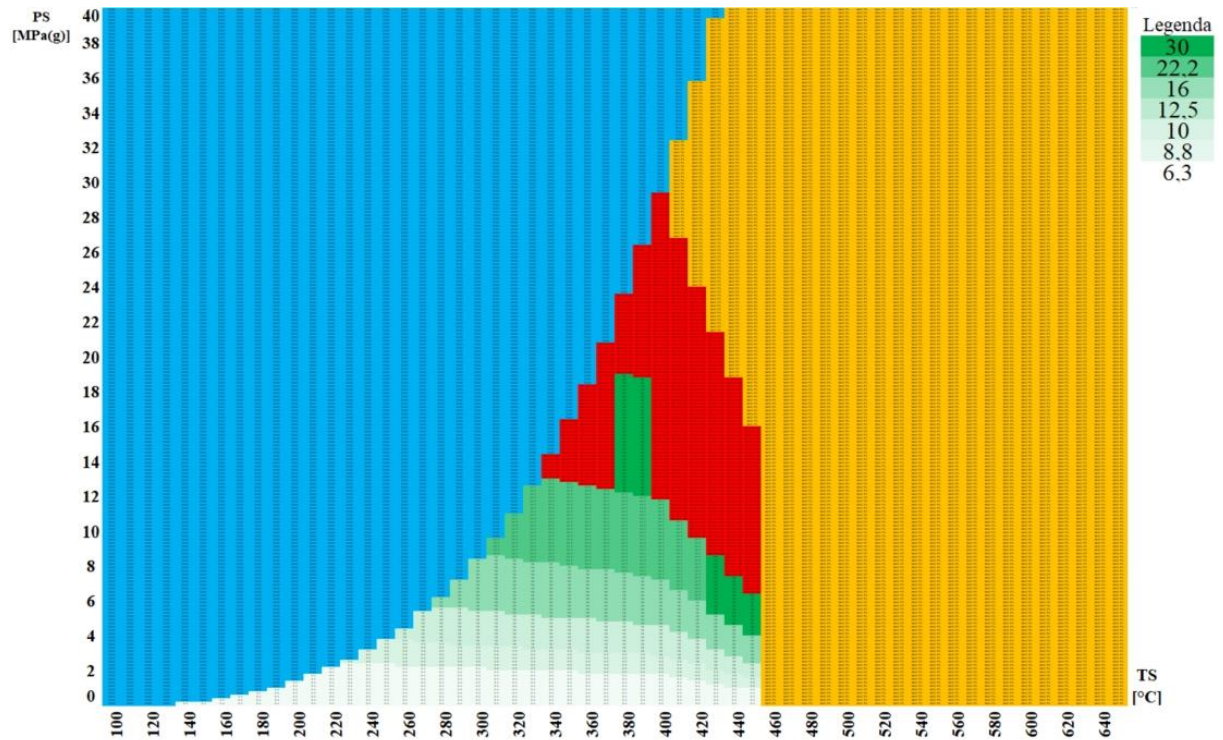
<i>Materiál</i>	<i>1.0345</i>	<i>1.0425</i>	<i>1.5415</i>	<i>1.7335</i>	<i>1.7380</i>	<i>1.4903</i>
<i>Přímá trubka</i>	<i>P235GH</i>	<i>P265GH</i>	<i>16Mo3</i>	<i>13CrMo4-5</i>	<i>10CrMo9-10</i>	<i>X10CrMoVNb9-1</i>
<i>PJ/kg</i>	<i>A106-A</i>	<i>A106-B</i>	<i>A335-P1</i>	<i>A335-P11</i>	<i>A335-P22</i>	<i>A335-P91</i>
<b>Cena</b>	2 609 PJ	2 118 PJ	5 963 PJ	6 481 PJ	10 229 PJ	13 463 PJ

Tabulka 6-4 - Jednotlivé ceny za 1 kg potrubí

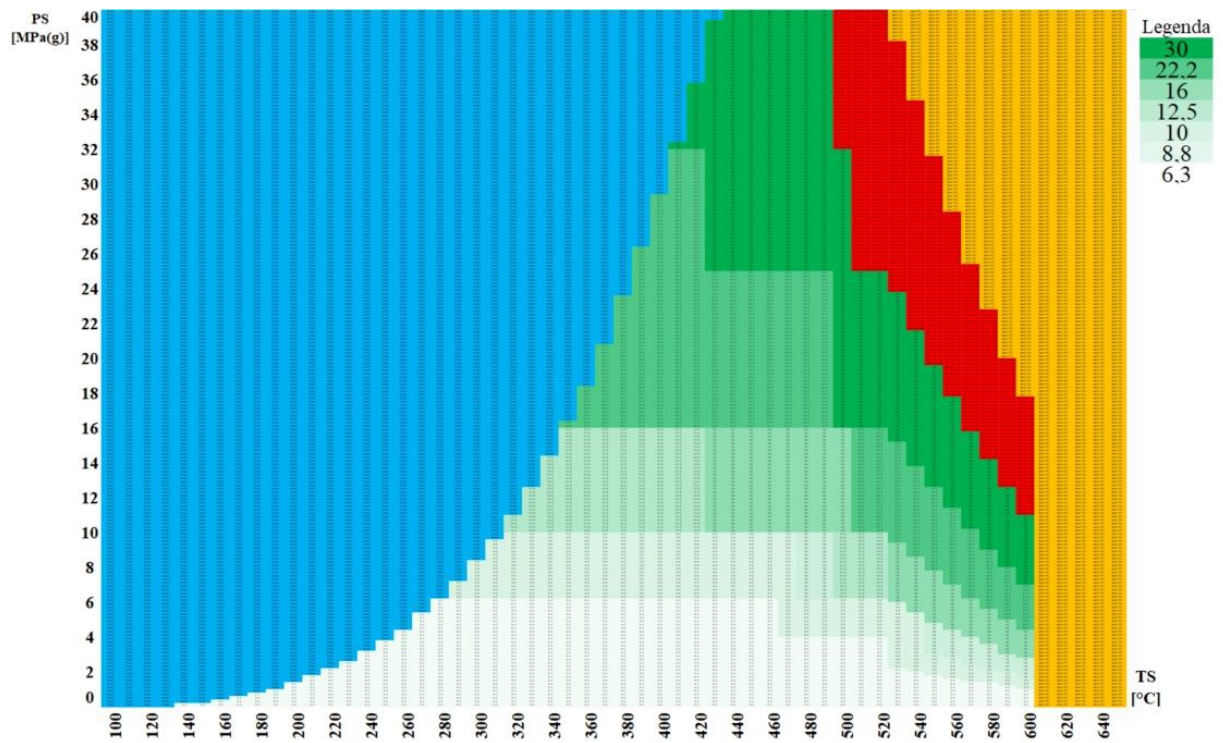
$$\begin{aligned}
 X_{ptm} &= X_{ptkg} \cdot \rho_{oc} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot t)^2] \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} \\
 &= X_{ptkg} \cdot \rho_{oc} \cdot \pi \cdot t \cdot (D_0 - t) \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} [PJ \cdot m^{-1}]
 \end{aligned}
 \tag{6.46}$$

Následující úvaha je demonstrována na porovnání přehledových map na obrázcích 6-15 až 6-18 pro oceli P265GH a X10CrMoVNb9-1. Lze konstatovat, že potrubí, která jsou vyrobena z kvalitnějších materiálů s lepšími mechanickými vlastnostmi (např. pevnost v tahu), mohou mít menší tloušťku stěny pro zaručení bezpečnosti provozu. To dokazuje porovnání obrázků 6-15 a 6-16. Nicméně v přepočtu na cenu za 1 metr potrubí vycházejí jako výhodnější materiály s horšími mechanickými vlastnostmi, jak ukazují obrázky 6-17 a 6-18. Je tomu tak z důvodu jejich jednodušší výroby a větší dostupnosti na trhu. Z obrázků 6-17 a 6-18 je vidět, že potrubní trasa, která je zhotovena z kvalitnějšího materiálu, je pro stejné parametry páry přibližně třikrát dražší než při zhotovení z materiálu s horšími mechanickými vlastnostmi.

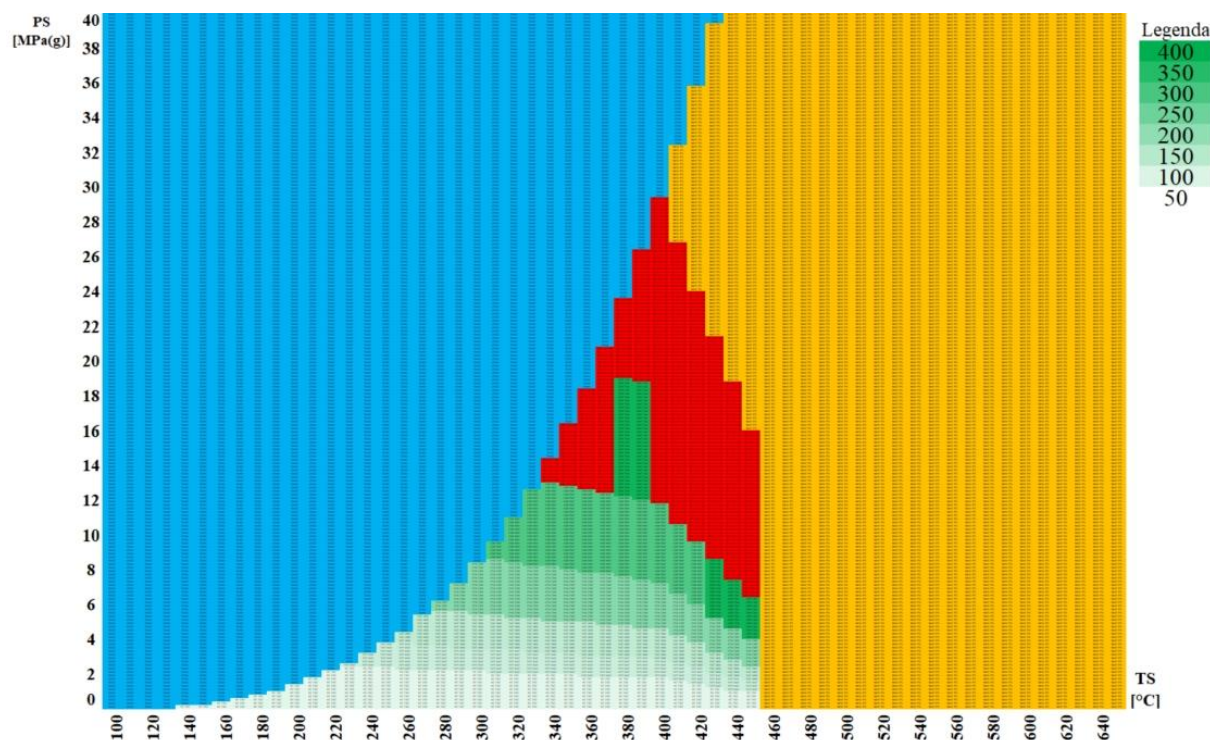
Obdobné stanovisko platí rovněž pro ekvivalentní materiály ASME, ze kterých je vyrobeno přímé potrubí.



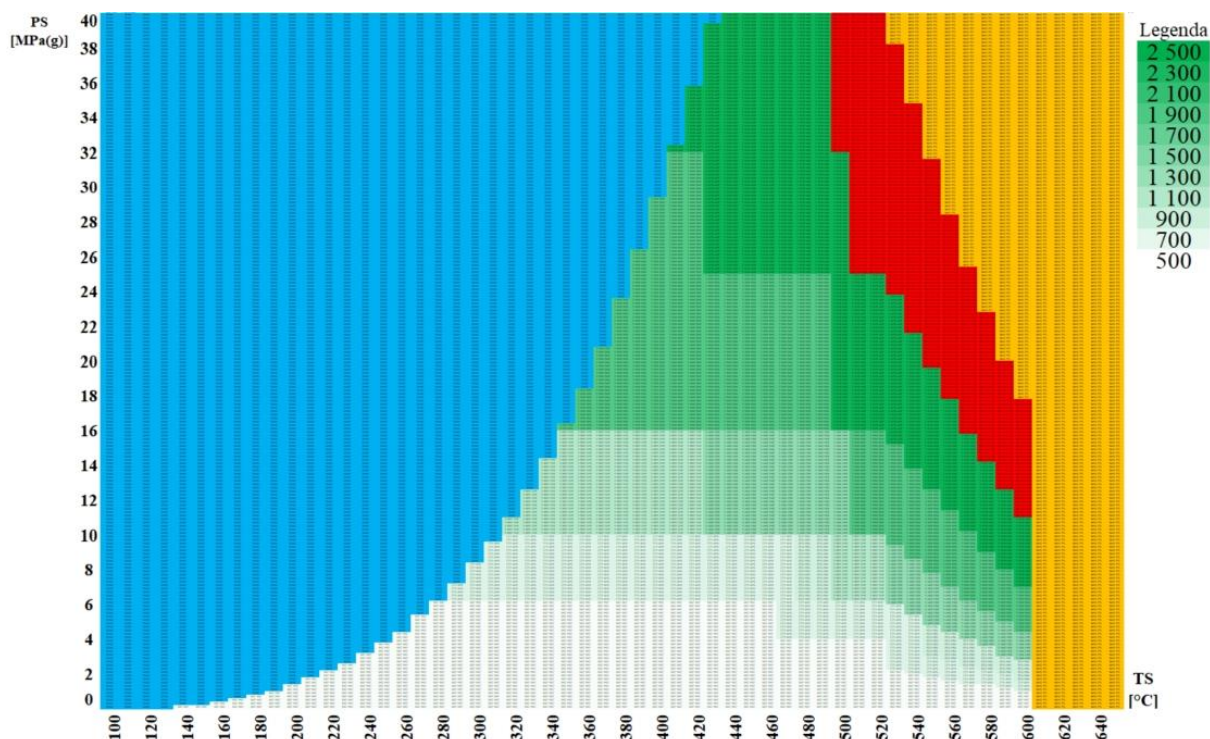
Obrázek 6-15 - P265GH - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů



Obrázek 6-16 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů



Obrázek 6-17 - P265GH - DN 250 – cena za 1 metr potrubí vyjádřen pomocí tisíců PJ



Obrázek 6-18 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – cena za 1 metr potrubí vyjádřen pomocí tisíců PJ

### 6.3.2 Cena za svařování

Cílem ocenění pracnosti svařování bylo určit množství materiálů a pomocných prostředků, které jsou potřebné pro svařování společně s časovou náročností pro každou kombinaci skupiny materiálů, vnějšího průměru potrubí a tloušťky stěny (EN i ASME). Následně byly jednotlivé hodnoty přepočteny na PJ podle příslušných ceníků nebo hodinových sazeb. Výsledkem byla

cena svařovacího procesu pro parametry páry při provedení určitého počtu svarů pro každou takovou kombinaci, kdy pomocí vhodného algoritmu byly vytvořeny přehledové mapy.

Ceny za svářečský materiál byly nalezeny v odkazu [28] českého dodavatele. Jedná se o katalogové ceny, takže cenová nabídka jednotlivých položek může být v případě hromadné objednávky zkreslena množstevní slevou. Tyto ceny byly uvažovány ve výpočtu jako konstantní pro jakoukoli destinaci montáže potrubí z důvodu možného převezení materiálu.

Ceny za provedení NDT v ČR byly nalezeny v odkazu [29]. Ceny za provedení NDT v zemích západní Evropy byly dodány firmou DSPW z cen na nejmenovaný projekt v západní Evropě a nemohou být v této práci zveřejněny. Nicméně umožňují určité porovnání nad cenou svařování při montáži v ČR a v zemích západní Evropy. Podobně byla rozdělena hodinová sazba za svářeče, kteří vykonávají své dílo v ČR nebo v západní Evropě (přibližně 1,7 násobek oproti ČR).

Celková cena za svařování je složena z ceny za svarový kov, za ochranné plyny, za elektrickou energii, za pronájem žíhacího zařízení, za provedení NDT a za hodinovou sazbu svářeče. Nacenení pracnosti také zohledňuje, jestli bylo svařování provedeno v ČR nebo v zahraničí.

Jednotlivé výsledky za svarovou náročnost je složité relevantně zobrazit z důvodu velkého počtu kombinací rozměrů DN, tloušťky stěny a svařování různých materiálů. Výsledky jsou shrnuty v několika bodech níže.

- Doba provedení samotné svářečské operace (včetně pomocných úkonů) se mění od několika desítek minut pro nejmenší DN a tloušťky stěny až po více jak deset hodin pro ty největší DN a tloušťky stěny potrubí. Se zvyšující se tloušťkou stěny stoupá celkový počet svarových housenek. Při relativně stálé rychlosti posunu během svařování to způsobuje, že s rostoucí tloušťkou stěny se zvyšuje čas, který potřebuje svářeč na provedení zadaného svaru. Napříč různými materiálovými skupinami vychází přibližně stejné časy pro stejné DN a tloušťku stěny potrubí. Nicméně to znevýhodňuje materiály s horší hodnotou mechanických vlastností, které potřebují větší tloušťku stěny.
- Při porovnání pouze cen za svarový kov, ochranný plyn a za energii spotřebovanou během svařování, má největší vliv na výslednou sumu cena za materiál svarového kovu. Z těchto tří hodnot tvoří cena svarového kovu více než 90 % celkové sumy těchto položek. Tento podíl je napříč kombinacemi DN, tloušťky stěny potrubí a použitého materiálu relativně stálý.
- Podíl součtu cen za svarový kov, za ochranný plyn a za energii spotřebovanou během svařování ku ceně za svářeče, který musí svar provést, se v rámci stejné skupiny materiálů postupně zvyšuje s rostoucím DN a tloušťkou stěny potrubí.
  - Pro materiály skupiny 1.1 se tato hodnota pohybuje zhruba od 2 do 25 %.
  - Pro materiály skupiny 5.1 se tato hodnota pohybuje zhruba od 3 do 26 %.
  - Pro materiály skupiny 5.2 se tato hodnota pohybuje zhruba od 6 do 27 %.
  - Pro materiály skupiny 6.4 se tato hodnota pohybuje zhruba od 7 do 39 %.
  - Nejvyšší nárůst je pozorovatelný u materiálů skupiny 6.4. Ten je způsoben tím, že daná materiálová skupina obsahuje vysoké procento legur, které zvyšují mechanické vlastnosti a podobně tomu musí být i u svařovacího drátu. A podobně jako je tomu u potrubních tras z materiálu s lepšími mechanickými vlastnostmi, tak i zde stoupá cena těchto svařovacích drátů za 1 kg. Cena svařovacího drátu, který se použije ke svařování materiálů skupiny 6.4, vychází přibližně dvakrát až čtyřikrát větší než pro skupinu 1.1. Nicméně vzhledem

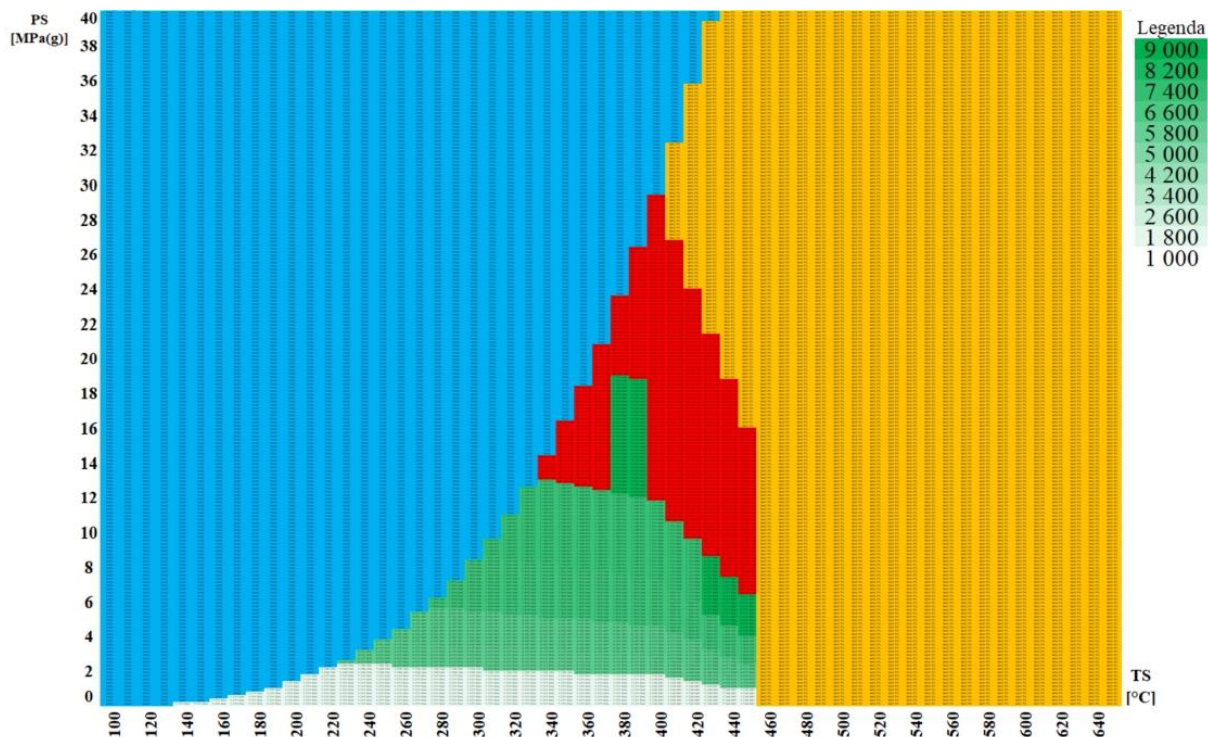
k nízkému podílu ceny svarového kovu, ochranného plynu a energie ku ceně za svářeče je podstatnější kratší doba provedení svaru.

- Při pohledu do příloh elektronické verze této práce je možné pozorovat určitý paradox. Pro stejný materiál a DN dochází se stoupající tloušťkou stěny potrubí k poklesu ceny za zhotovení svařování. Jedním z důvodů, který způsobuje tento jev je velký vliv doby trvání procesu svařování na výslednou cenu, resp. částka, kterou je nutné proplatit za provedenou práci svářeči nebo svářečské firmě. Doba svařování byla určena na základě dat nalezených ve WPQR, které jsou vlastněny firmou DSPW. Různé WPQR ovšem obsahovaly nepatrně odlišné rychlosti posuvu během svařování dané housenky, čímž docházelo k rozdílné době svařování, která se ovšem nemusela zvyšovat s rostoucí tloušťkou stěny potrubí, resp. počtem housenek. Záleželo na výsledné kombinaci rychlosti posuvu a počtu housenek
- Cenu za svařování materiálů s lepšími mechanickými vlastnostmi zvyšuje nutnost provedení PWHT. Toho se v analýze dosáhlo pomocí žíhacího zařízení, které udržuje předepsané teplotní zacházení s materiálem v průběhu svařování. Cena za odebranou elektrickou energii je zanedbatelná ve srovnání s cenou za zapůjčení žíhacího zařízení. Cena za použití žíhacího zařízení výrazně ovlivňuje celkovou cenu svařovacího procesu. Na druhou stranu lze žíhací zařízení využít na více svarů najednou, takže se jeho efektivita zvyšuje v závislosti na možnostech a poloze svařování. Při uvažování provedení celkem dvaceti obvodových svarů a použití žíhacího zařízení na tři svary současně tvoří cena za žíhací zařízení přibližně 40% z celkové ceny pro malé hodnoty DN a malé tloušťky stěny. Cena za žíhací zařízení tvoří přibližně 5% z celkové ceny svařovacího procesu pro největší hodnoty DN a tloušťky stěny. Tento rozdíl je způsoben tím, že se stoupajícím rozměrem DN a tloušťky stěny stoupá doba provedení svařování a tím i stoupá cena za svářeče.
- Cena za jedno provedení NDT zkoušky se nijak neliší při aplikaci na různé typy materiálu. Cena za jedno provedení NDT zkoušky se nijak výrazně nezvyšuje ani při zvětšení DN nebo tloušťky stěny. Výrazná změna v celkové ceně za NDT je způsobena rozdílnými procenty kontrolovaných svarů podle typu materiálu, jak je uvedeno v tabulce 5-2. Je konstatováno, že cena za NDT zkoušku v ČR vychází přibližně třikrát až čtyřikrát nižší než při provedení NDT v západních evropských zemích. Celková cena za NDT zkoušky tvoří maximálně 30% z celkové ceny svařovacího procesu pro malé hodnoty DN a malé tloušťky stěny. Celková cena za NDT zkoušky tvoří přibližně 5% z celkové ceny svařovacího procesu pro největší hodnoty DN a tloušťky stěny. Tento rozdíl je způsoben tím, že se stoupajícím rozměrem DN a tloušťkou stěny stoupá doba provedení svařování a tím i stoupá cena za svářeče.
- Ohledně cen za NDT zkoušky je zajímavým faktem, že za určitých podmínek při překročení hranice tloušťky stěny 8 mm, dochází k poklesu výsledné ceny za NDT. To je způsobeno tím, že do tloušťky stěny potrubí 8 mm je uvažována metoda RT pro zjišťování vnitřních diskontinuit a od větší tloušťky metoda UT. Metoda UT je ve srovnání s RT levnější a ve výsledku zlevňuje celkovou finanční částku za NDT.

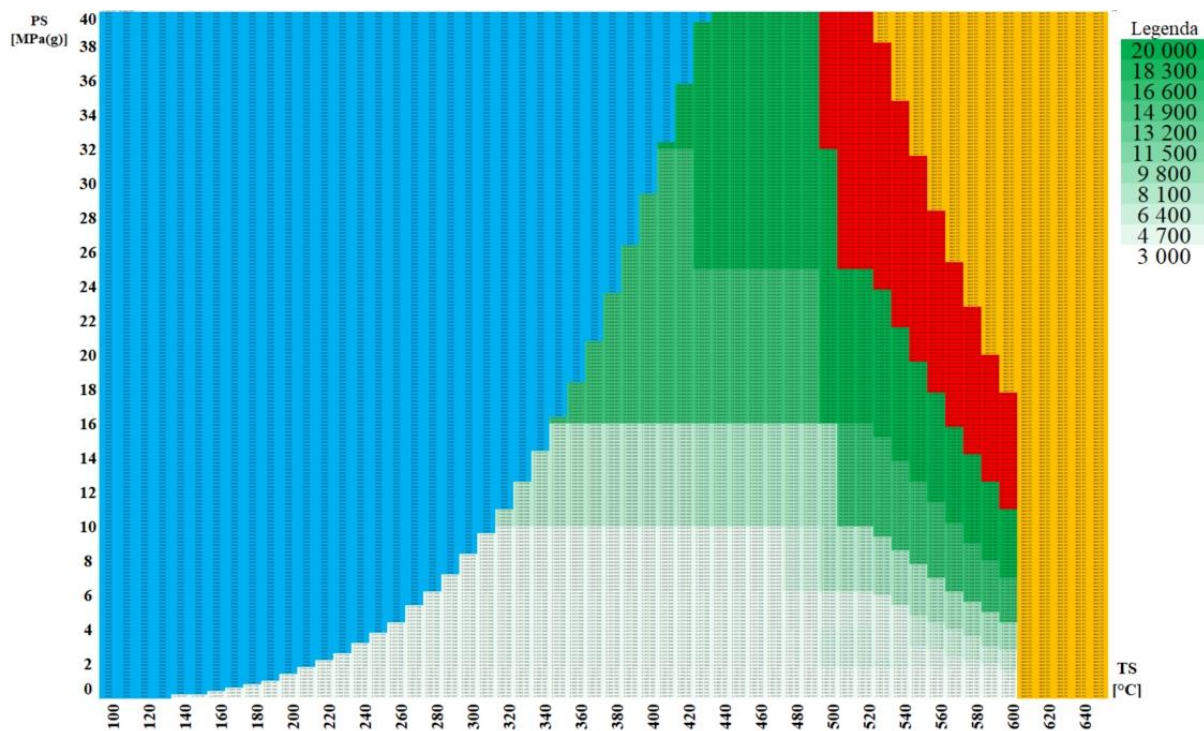
Obecnými závěry lze konstatovat, že přes 90% z celkové ceny za provedení svařovacího díla tvoří součet cen za samotného svářeče, žíhací zařízení nutné pro PWHT a cena za NDT testování. První položka zvyšuje vysoce legované oceli s větší pevností a tím nižší tloušťkou stěny. Druhá a třetí položka ovšem znevýhodňuje vysoce legované oceli. Záleží na kombinaci hodnoty DN a tloušťky stěny, která z položek tvoří většinu ceny.

Proto jsou uvedeny přehledové mapy cen za provedení 20 obvodových svarů na potrubí DN 250 pro oceli P265GH (skupina 1.1) a X10CrMoVNb9-1 (skupina 6.4), a to na obrázcích 6-19 a

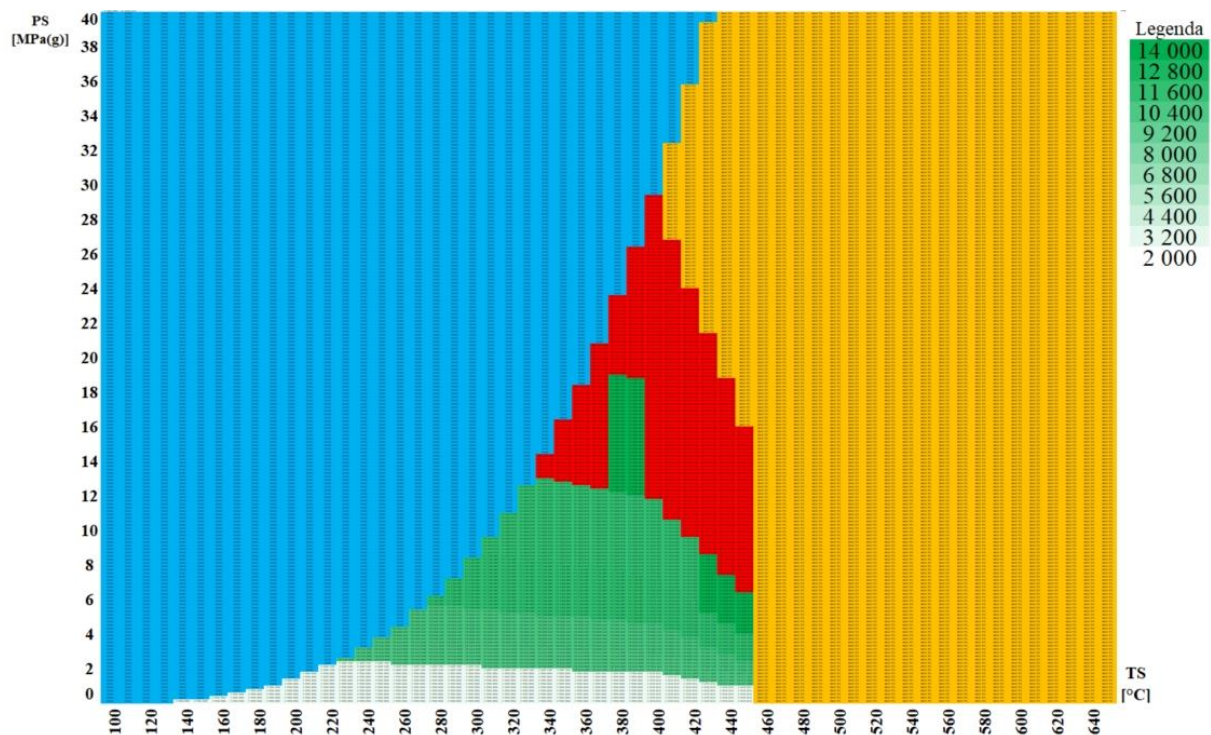
6-20. Odchylku mezi výsledky při svařování v ČR a v západních evropských zemích ukazují obrázky 6-21 a 6-22.



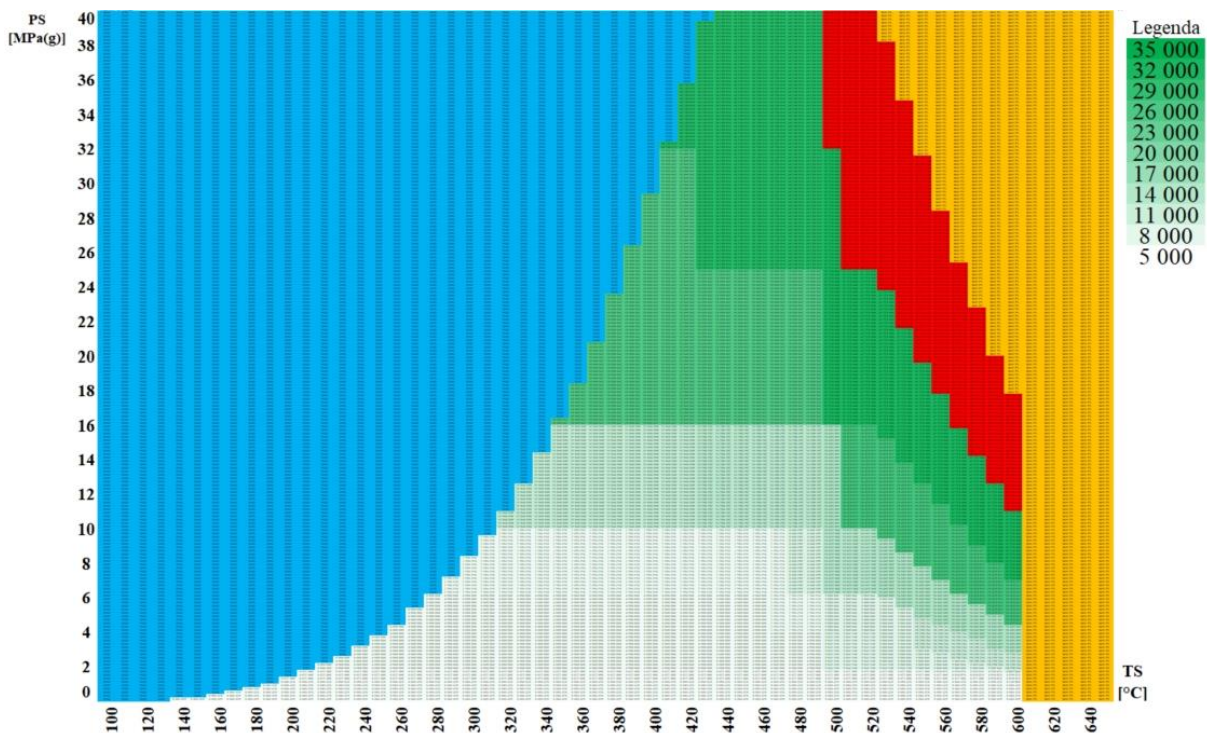
Obrázek 6-19 - P265GH - DN 250 - montáž ČR - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ



Obrázek 6-20 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – montáž ČR - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ



Obrázek 6-21 - P265GH - DN 250 – montáž západní Evropa - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ



Obrázek 6-22 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – montáž západní Evropa - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ

Pro další ilustraci situace je uvedena tabulka 6-5, která porovnává výsledky ocenění pracnosti 20 obvodových svarů pro parametry páry 6 MPa(g) a teplotu 350 °C, které jsou přepočítané na PJ, pro materiály P265GH a X10CrMoVNb9-1 při svařování v ČR a západní Evropě. Cena za čas práce svářeče převažuje všechny ostatní položky, ačkoli pro vysoce legovaný materiál je



zapotřebí používat dražší svařovací materiály, provést více zkoušek NDT a používat žíhací zařízení. To je způsobeno vysokým množstvím svarových housenek pro nízko legovanou ocel s velkou tloušťkou stěny, kdy svářeč musí za relativně stálého posuvu objekt svarové potrubí mnohokrát dokola.

Tento jev se projevuje s rostoucí kvalitou materiálu, resp. mechanickými vlastnostmi, a vysoce legovaná ocel vychází jako nejlepší varianta vzhledem ke svářečským operacím.

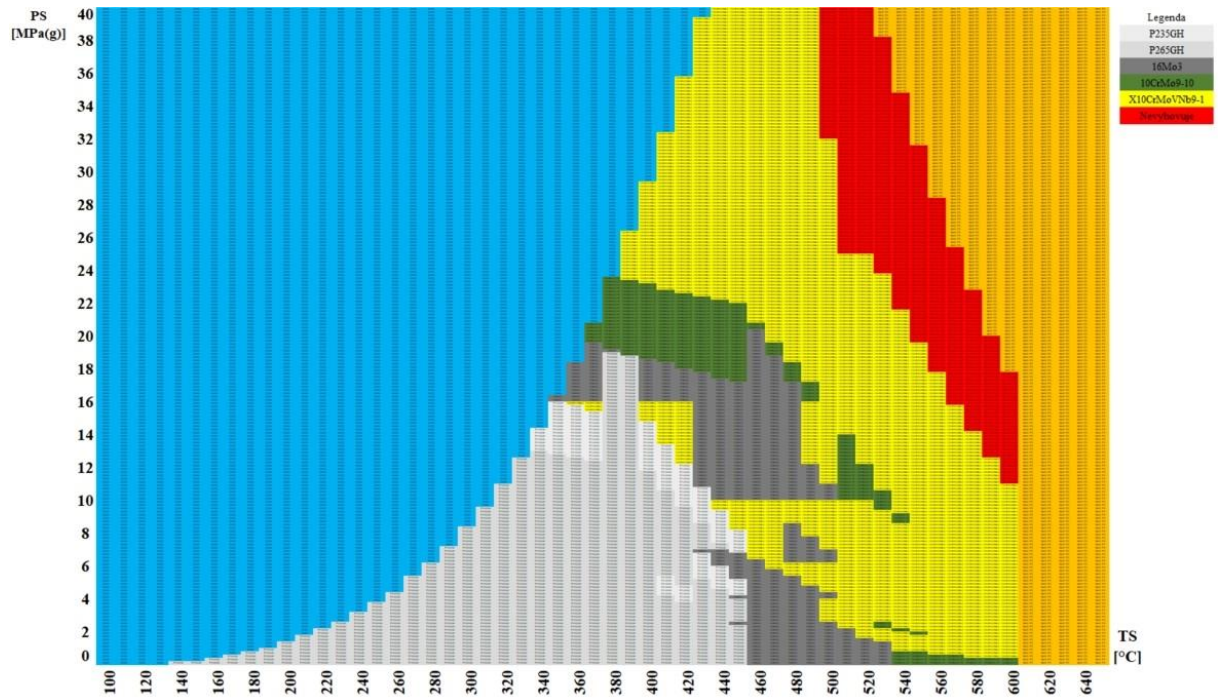
Materiál	P265GH	X10CrMoVNb9-1	P265GH	X10CrMoVNb9-1
DN	250	250	250	250
Norma	EN	EN	EN	EN
Tloušťka stěny [mm]	16	6,3	16	6,3
Destinace svařování	CZE	CZE	západní Evropa	západní Evropa
Tečení	Nevýrazné	Nevýrazné	Nevýrazné	Nevýrazné
Potrubní kategorie	3	3	3	3
Cena za žíhací zařízení [PJ]	0	411 634	0	411 634
Cena za NDT [PJ]	183 229	749 946	465 010	1 337 700
Cena za svářeče [PJ]	6 418 174	2 786 943	10 910 895	4 737 804
Cena za zbytek [PJ]	423 996	817 046	423 996	817 046
Celková cena za svařování [PJ]	7 025 399	4 353 935	11 799 901	6 892 549

Tabulka 6-5 - Porovnání cen za svařování materiálů P265GH a X10CrMoVNb9-1 pro parametry páry 6 MPa(g) a 350 °C

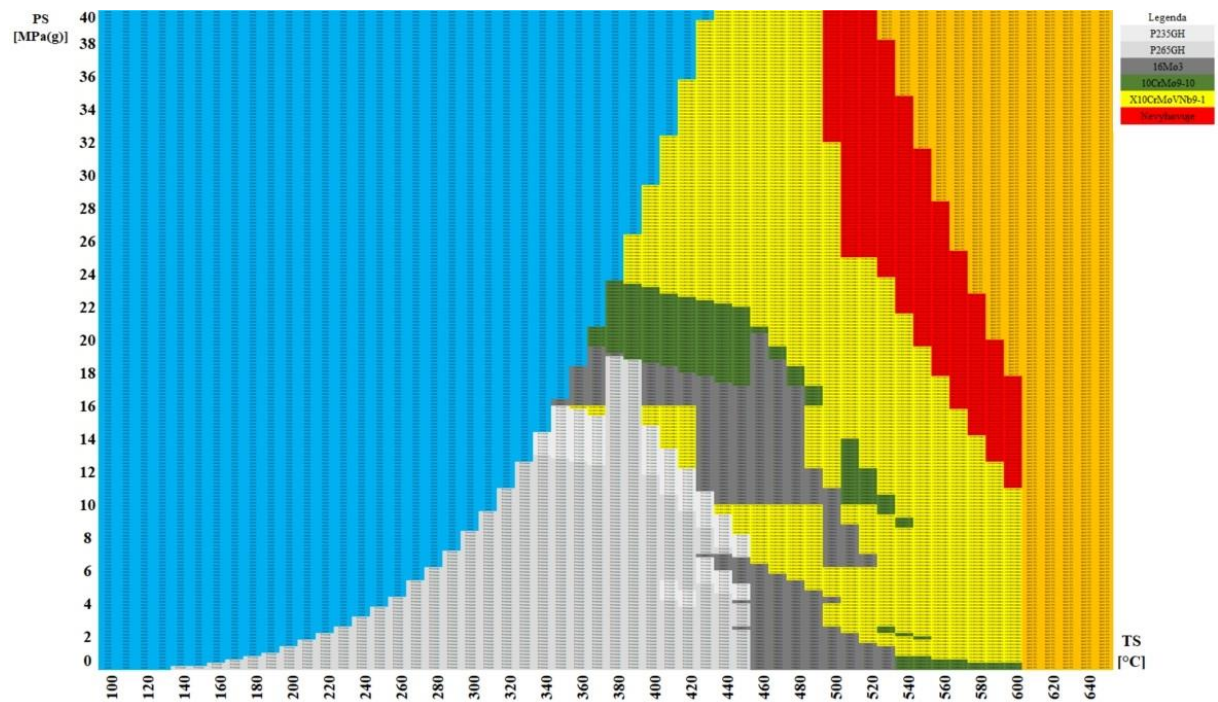
Tato situace nastává u vyšších parametrů vnitřního přetlaku. Nicméně je na místě zdůraznit, že se jedná pouze o jednu vybranou situaci a navíc s výrazným rozdílem tloušťky stěny potrubí daného materiálu. Pro ucelený pohled jsou vytvářeny přehledové mapy, které jsou součástí přílohy elektronické verze této práce.

### 6.3.3 Výsledná technicko-ekonomická hranice

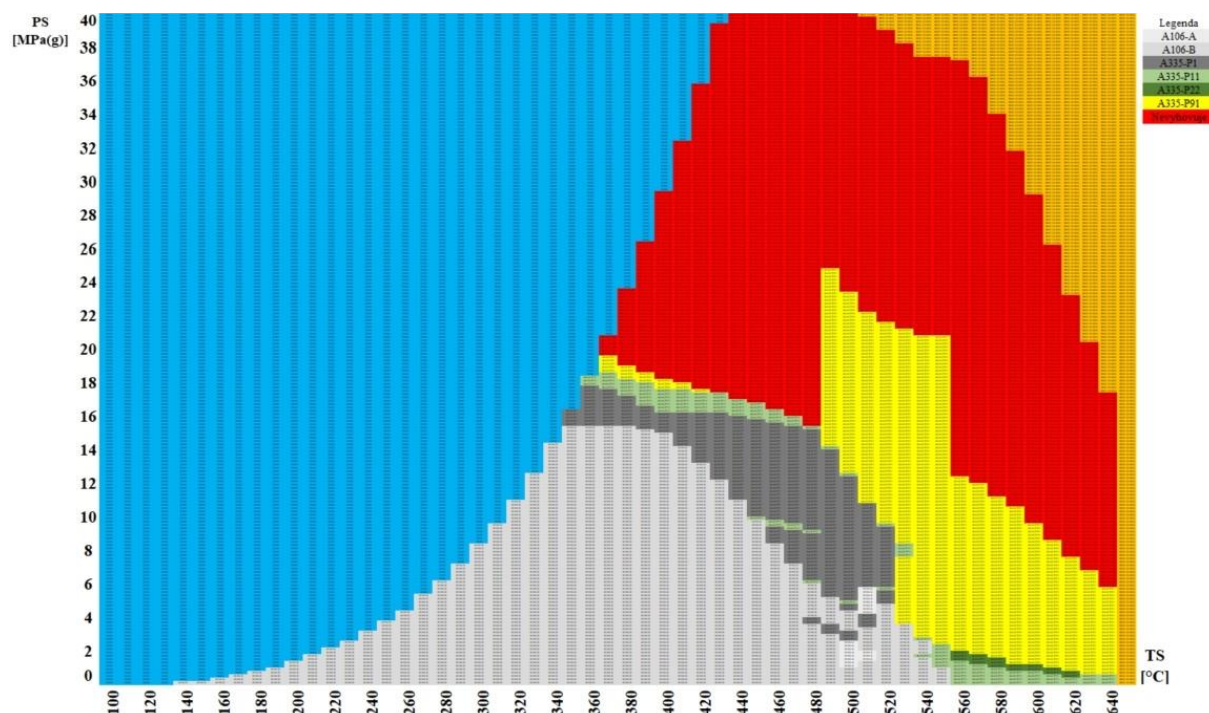
Na základě odborné konzultace byla hlavním porovnávacím kritériem pro vytvoření technicko-ekonomické hranice nejmenší výsledná cena za materiál potrubní trasy o příslušných parametrech páry. Porovnávací potrubní trasa se skládá z 30 metrů přímého potrubí a vyskytuje se na ni 20 obvodových svarů. Se stoupající teplotou páry klesá jednotlivým ocelím mez pevnosti a kluzu a od určitého přetlaku a teploty nejsou jejich hodnoty v rámci tlakoteplotních stupňů definovány, takže výběr ocelí se postupně zužuje. Pro nejvyšší parametry páry je doporučen a používá se vysoce legovaný materiál. Obrázky 6-23 až 6-26 ukazují přehledové mapy s výběrem nejlevnějšího materiálu pro DN 250 pro normy EN a ASME a jak volbu materiálu ovlivní montáž v ČR nebo v západní Evropě.



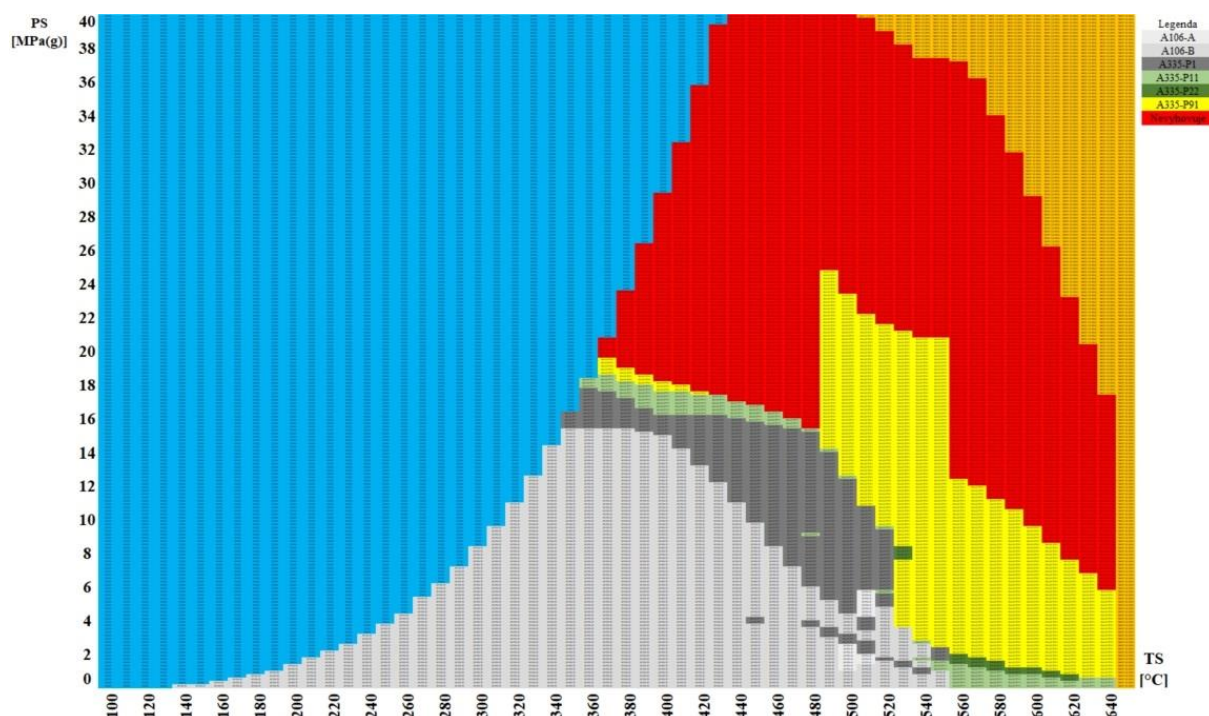
Obrázek 6-23 - DN 250 - materiály podle EN - montáž ČR - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu



Obrázek 6-24 - DN 250 -materiály podle EN - montáž západní Evropa - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu



Obrázek 6-25 - DN 250 - materiály podle ASME - montáž ČR - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu



Obrázek 6-26 - DN 250 - materiály podle ASME - montáž západní Evropa - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu

Pro další ilustraci situace je uvedena tabulka 6-6, která porovnává celkové výsledky cen pro parametry páry 6 MPa(g) a teplotu 350 °C, které jsou přepočítané na PJ, pro materiály P265GH a X10CrMoVNb9-1 při svařování v ČR a západní Evropě. Vzhledem k rozdílnosti cen za jeden metr přímého potrubí a za 20 obvodových svarů byl proveden výpočet délky potrubní trasy, od které se začne vyplácet pořízení potrubní trasy z nízko legované oceli, tzv. bod zvratu.

Materiál	P265GH	X10CrMoVNb9-1	P265GH	X10CrMoVNb9-1
DN	250	250	250	250
Norma	EN	EN	EN	EN
Tloušťka stěny [mm]	16	6,3	16	6,3
Destinace svařování	CZE	CZE	západní Evropa	západní Evropa
Tečení	Nevýrazné	Nevýrazné	Nevýrazné	Nevýrazné
Potrubní kategorie	3	3	3	3
Cena za provedení 20 obvodových svarů [PJ]	7 025 399	4 353 935	11 799 901	6 892 549
Požizovací cena za 1 metr přímého potrubí [PJ]	214 767	557 857	214 767	557 857
Počet metrů k vyrovnání ceny / bod zvratu [m]	7,786		14,303	

Tabulka 6-6 - Přehled cen za materiál a počtu metrů k obratu ve volbě materiálu pro parametry páry 6 MPa(g) a 350 °C

Jelikož potrubní trasa o délce přibližně 15 metrů je relativně krátká, je možné udělat závěr, že pro tyto parametry páry je cenově výhodnější používat nízko legované materiály.

Z výsledků v tabulce 6-6 je vhodné usuzovat, že pro nízké parametry páry se stoupajícím počtem obvodových svarů stoupá výhodnost použití vysoce legované oceli na potrubní trasu parního potrubí. Výsledný počet svarů na potrubní trase je ovlivněn montážními možnostmi na daném místě potrubní trasy (novostavba nebo rekonstrukce, okolní překážky, apod.). Nicméně snahou strojních projektantů by mělo být snižovat výsledný počet svarů na co nejmenší hodnotu z toho důvodu, že každý provedený svar na trase zvyšuje výslednou cenu potrubní trasy. Vzhledem k tomu je usuzováno, že celkový počet svarů na potrubní trasu bude co nejmenší a cenová výhodnost použití nízko legované oceli jako výrobního materiálu se projeví už při krátkém úseku trasy.

Je vhodné zdůraznit, že do celkové ceny nejsou započítány ceny za kolena a tvarovky konkrétní potrubní trasy. Jejich cenový poměr mezi různými materiály je obdobný jako poměr mezi cenami za 1 kg materiálu pro přímé potrubí. V případě jejich započítání do výsledné ceny je možné odhadovat, že výsledný počet metrů, odkdy dojde k zvýhodnění nízko legované oceli, bude ještě menší, než je uvedeno v tabulce 6-6.

Další nevýhodou vysoce legovaných ocelí, která byla diskutována s odborníky DSPW a byla pozorována při montážních pracích, je možná ztráta kvality mechanických vlastností vzhledem k vysokému počtu provedení žíhacího procesu na potrubí. Touto problematikou se však tato diplomová práce nezabývá a je zde zmíněna pouze jako určitý podnět k dalšímu akademickému bádání v oblasti metalurgie.

## 7 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo provést pevnostní a ekonomické ohodnocení použití nízko, středně a vysoce legovaných materiálů, které jsou určeny pro parní potrubí. Cílem mělo být nalezení vhodné technicko-ekonomické hranice při použití legovaných materiálů pro potrubí od DN 25 do DN 250.

Pro výpočet byl v rámci této analýzy použit program Microsoft Excel 2016 s doplňkovým makrem hodnot vody a vodní páry „Steam97“. Tento program byl zvolen pro jeho snadné používání a jeho dostupnost v rámci celé firmy DSPW.

V kapitole 3 byly popsány vlastnosti posuzovaných materiálů z hlediska chemického složení a mechanických vlastností. Byly mezi sebou porovnány jednotlivé oceli norem EN a ASME.

V kapitole 4 byla popsána teorie potrubních tříd a tlakoteplotních stupňů. Dále zde bylo popsáno porovnání mezi tlakoteplotními stupni norem EN a ASME.

V kapitole 5 byla popsána stručná teorie ke svařovací části, která se týká montáže parního přímého potrubí. Ta slouží čtenáři k získání rámcového přehledu ohledně teorie a provedení svařování při montáži a výpočtu pracnosti svařování za dodržení svářečských norem EN, které jsou v projektech firmy DSPW často používány.

V podkapitolách 6.1 a 6.2 byl popsán výpočet tloušťky stěny přímého potrubí a ocenění pracnosti svařování.

Podmínkou pro použití materiálu při daných parametrech páry bylo použití standardizovaných rozměrů a zároveň musely parametry páry odpovídat existujícímu tlakoteplotnímu stupni z důvodu možného vytvoření potrubní třídy. Více o tomto problému pojednává kapitola 4. Při nedodržení těchto podmínek by nemohl být materiál pro dané parametry páry použit a musel by být nahrazen jiným.

Do pracnosti svařování byla zahrnuta cena za svářečský materiál, za spotřebovanou energii, za provedení PWHT v okolí svaru a za provedení NDT. Zároveň byly v kapitole 6 analyzovány jednotlivé situace, které mohou při navrhování potrubní trasy pomocí potrubních tříd nastat. Převedení výpočtů na výslednou cenu potrubní trasy podle použitého materiálu a poměrové cenové porovnání jednotlivých částí výpočtu se nachází v podkapitole 6.3.3.

Porovnání výsledných cen za potrubní trasu jednotlivých materiálů bylo provedeno pro 30 metrů přímého bezešvého potrubí s 20 obvodovými svary. Do porovnání nebyly započítány ceny materiálu za kolena a různé potrubní tvarovky. Nicméně rozbor k jejich vlivu na výsledek je popsán v podkapitole 6.3.3.

Hlavním výsledkem této práce bylo vytvoření tzv. přehledových map. Na osách y a x jsou zadány parametry maximálního vnitřního přetlaku vůči okolí a teploty média. Jednotlivé výsledné hodnoty byly od sebe vždy odděleny barevně, tj. škála od bílé do tmavě zelené značila porovnání vypočtených hodnot, modrá barva značila skupenství vody, oranžová značila chybějící parametry pro vytvoření potrubní třídy na základě tlakoteplotních stupňů a červená značila nevyhovující standardizované rozměry. Ve výsledku měly tyto mapy zobrazovat výběr finančně nejvýhodnější varianty, resp. nejvhodnějšího materiálu pro konkrétní parametry páry, kdy jednotlivé oceli byly rozlišeny barvami s příslušnou legendou. V příloze tištěné verze této práce byly uvedeny přehledové mapy s výsledným výběrem materiálu podle maximálních parametrů páry. Dále v příloze elektronické verze této práce byly uvedeny přehledové mapy s tloušťkou stěny potrubí, cenou za 1 metr přímého potrubí, cenou za provedení 20 obvodových

svarů v ČR a v západní Evropě. Všechny tyto mapy by měly sloužit čtenáři k ucelenému pohledu na daný problém napříč zadanými rozměry DN.

V reálném projektu na konkrétní potrubní trase dochází k vysokému počtu kombinací délky přímého potrubí, počtu obvodových svarů, počtu tvarovek potrubní trasy, dále pak k vysokému počtu kombinací cen materiálu v závislosti na ceníku dodavatele a cen za provedení montážních prací (a to i s přihlédnutím k lokalitě montáže). Vzhledem ke všemu výše zmíněnému je velmi obtížné stanovit jednoznačný výsledek vhodné volby materiálu pro konkrétní parametry, protože výsledky se liší i podle velikosti vnějšího průměru potrubí. Ke každé konkrétní potrubní trase by mělo být přihlíženo samostatně. Nicméně tato práce může sloužit jako názorná ukázka různých faktorů, které ovlivňují výslednou volbu nejhodnější oceli.

Vzhledem k úvahám v podkapitole 6.3.3 lze učinit závěr, že je výhodnější prosazovat potrubní trasy standardizovaných rozměrů vyrobené z nízko legované oceli až do úplné krajnosti, tj. do maximálního definovaného vnitřního přetlaku a teploty média, které jsou dány buď tlakoteplotními stupni nebo definovaným maximálním dovoleným napětím. Nicméně tento závěr by se měl brát s určitou rezervou. Jak už bylo zmíněno výše, jednotlivé situace by měly být posuzovány samostatně a s přihlédnutím k aktuálním cenám na trhu.

Výslednou volbu finančně nejvýhodnějšího materiálu, která byla provedena v rámci této analýzy, mohou ovlivnit i další faktory, které byly prodiskutovány s odborníky z firmy DSPW. Ty by však měly změnit výsledek jen nepatrně a proto nebyly v práci uvažovány. Jedním z takových faktorů je například cena za uložení potrubní trasy, kdy při použití vysoce legované oceli by jeden metr potrubí nezatežoval uložení svou vlastní vahou tolik, jako potrubní trasa vyrobená z nízko legované oceli, která by vyžadovala větší tloušťku stěny. Nicméně cena za uložení se nijak výrazně nemění v závislosti na zatížení daného uložení.

Je možné provést přepočítání kalkulace pro aktuální projekt, situaci na trhu ocelí a potrubní trasu. Vytvořené výpočtové soubory byly proto předány iniciátorovi této diplomové práce, tj. strojnímu projekčnímu oddělení firmy Doosan Škoda Power s.r.o.

## 8 Zdroje

### 8.1 Tištěné zdroje

- [1] ASME B16.34-1996. *VALVES-FLANGED, THREADED, AND WELDING END – AN NATIONAL AMERICAN STANDRAD*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 1998
- [2] ASME B31.1-2018. *Power Piping – ASME Code for Pressure Piping*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 2018
- [3] ASME B36.10M-2004. *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 2004
- [4] ASME B36.19M-2004. *Stainless Steel Pipe*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 2004
- [5] ASME BPVC II Part A. *2004 ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE – Part A – Ferrous Material Specification*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 2005
- [6] ASME BPVC II Part D. *2004 ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE – Part D – Properties (Metric)*. Three Park Avenue, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, 2005
- [7] BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.
- [8] BARTOŠ, Jaroslav. *Učebnice pro základní kurz svařování metodou 111 1.1: (ruční svařování elektrickým obloukem, obalenou elektrodou nelegovaných a nízkolegovaných ocelí) : se souborem testových otázek*. 3., aktualiz. vyd. V Ostravě: ZEROSS, c2012. Svařování. ISBN 80-86698-17-3.
- [9] Bc. Cícha Tadeáš. *Implementace svařovacího automatu do výroby armatur*. (Diplomová práce) Brno: VUT, 2018
- [10] ČSN EN 1011-1. *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [11] ČSN EN 1011-2. *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2002
- [12] ČSN EN 1092-1. *Příruby a přírubové spoje – Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství, s označením PN – Část 1: Příruby z oceli*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019
- [13] ČSN EN 10216-2. *Bezešvé ocelové trubky pro tlakové účely – Technické dodací podmínky – Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se stanovenými vlastnostmi při zvýšených teplotách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014

- [14] ČSN EN 10253-2. *Potrubní tvarovky pro přivaření tupým svarem – Část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků na kontrolu*. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [15] ČSN EN 13480-1. *Kovová průmyslová potrubí – Část 1: Obecně*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [16] ČSN EN 13480-3. *Kovová průmyslová potrubí – Část 3: Konstrukce a výpočet*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [17] ČSN EN 13480-4. *Kovová průmyslová potrubí – Část 4: Výroba a montáž*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [18] ČSN EN 13480-5. *Kovová průmyslová potrubí – Část 5: Kontrola a zkoušení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [19] ČSN EN 13480-7 (idt CEN/TR 13480-7:2002). *Kovová průmyslová potrubí – Část 7: Návod na používání postupů posuzování shody*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [20] ČSN EN 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování – Část:1: Obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [21] ČSN EN 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část:1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [22] ČSN EN ISO 17635. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Obecná pravidla pro kovové materiály*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [23] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- [24] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 1998. ISBN 80-7183-285-5.
- [25] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999, ISBN 80-7204-130-4
- [26] Špičková, Petra. *Tepelné zpracování principem odporového žhání*. (Bakalářská práce) Brno: VUT, 2009
- [27] TNI CEN ISO/TR 15608. *Svařování - směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin*. Praha: Český normalizační institut, 2008

## 8.2 Internetové zdroje

- [28] Ceník 2020 ESAB, Přídavné materiály, ochranné pomůcky a příslušenství. Rulík Chrudim - Autogenní a svařovací technika [online]. Copyright © [cit. 09.06.2020]. Dostupné z: [https://svarecky-chrudim.cz/dokumenty/cenik\\_esab.pdf](https://svarecky-chrudim.cz/dokumenty/cenik_esab.pdf)
- [29] ČINNOST DEFEKTOSKOPICKÉ ZKUŠEBNY (NDT) – CENÍK 2017. Laboratoře, zkušebny | TESYDO, s.r.o. (Technické systémové dozory) [online]. Dostupné z: <https://www.tesydo.cz/dokumenty/laboratore-zkusebny/vypis.php>
- [30] DHC 6510R invertorový ohřev - Dawell. Úvod - Dawell [online], [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: <https://www.dawell.cz/produkt/dhc-6510r-invertorovy-ohrev/>



- [31] Hála welding. *Pracovní pomůcky pro svařování potrubí* [online]. Copyright © 2020 Ing. Vladimír Hála, [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <http://www.hala-welding.cz/file.php?nid=5135&oid=6457705>
- [32] Ing. Kováčik, M. Ing. Kučík, P. *Ultrazvuková technika TOFD při určení hloubkových rozměrů vad.* (článek) Bratislava: Slovcert, s.r.o., [online], [cit. 01.07.2020]. Dostupné z: <http://www.ndttrade.cz/UserFiles/File/ut%20technika%20tofd%20oprava.pdf>
- [33] MMA - ručně obalenou elektrodou | Svářecí technika Schinkmann.cz. *Svářecí technika Schinkmann.cz* [online]. Copyright © 1991 [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>
- [34] Ing. Novák, S., CSc. Ing. Mráček, J., Ph.D. *Parametry, které ovlivňují náklady na svařování.* (článek) Kladno: PŽSK, s.r.o., [online], [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1807452-Parametry-ktere-ovlivnuji-naklady-na-svarovani.html>
- [35] Ochodek, V. *Vliv teplotního režimu svařování na vlastnosti svarových spojů - I.* (přednáška) Ostrava: VŠB TU, 01/2011 [online], [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: [http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/vliv\\_templ\\_rezimu\\_a1.pdf](http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/vliv_templ_rezimu_a1.pdf)
- [36] Pracovní polohy při svařování | SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ. SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ - profesionální e-shop se svařovací technikou [online] [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/pracovni-polohy-pri-svarovani/t-99>
- [37] SteelNumber - EN 10027 - Designation systems for steels. *European Steel and Alloy Grades / Numbers - free database for search* [online]. Copyright © [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: [http://www.steelnumber.com/en/number\\_en10027\\_eu.php](http://www.steelnumber.com/en/number_en10027_eu.php)
- [38] *UT zkoušení phased array.* [online]. Copyright © 2017 PTS Josef Solnař, Všechna práva vyhrazena [cit. 01.07.2020]. Dostupné z: <https://www.ptsndt.com/cs/pts-josef-solnar-ndt-skoleni-vzdelavani/ut-ndt-zkouseni-ultrazvukem/ut-zkouseni-phased-array>
- [39] *Voestalpine Böhler Welding – Welding Calculator* [online]. Copyright © [cit. 25.03.2020]. Dostupné z: <http://boehler-welding-service.com/voestalpine/calculator/eng/step2.php?vtype=2>

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 4-1 - Ukázka katalogu PDMS a značení potrubních třídy jednotlivých komponent .	13
Obrázek 4-2 - Ukázka PDMS – chladiče mazacího oleje s příslušenstvím pro nejmenovaný projekt DSPW .....	14
Obrázek 4-3 - Ukázka bilančního schématu pro nejmenovaný projekt DSPW .....	14
Obrázek 5-1 - Příklad WPS používané v DPSW .....	25
Obrázek 5-2 – Ilustrující obrázek svařování metodou 111 [33].....	26
Obrázek 5-3 - Ilustrativní obrázek svařování metodou 141 [7] .....	27
Obrázek 5-4 - Ilustrační příklad zajištění vzájemné polohy dvou potrubí při svařování na stavbě [31] .....	28
Obrázek 5-5 – Elektro odporové žíhání svaru potrubí [30].....	29
Obrázek 5-6 - Klasifikace potrubních skupin pro páru pro NDT podle ČSN 13 0020 a ČSN EN 13480-5 .....	30
Obrázek 6-1 - Graf voda (modrá) a pára (šedá) .....	32
Obrázek 6-2 - Rozhodovací klíč o fázi pára – voda .....	33
Obrázek 6-3 - Rozdělení potrubních tříd podle tlakoteplotních stupňů PN pro materiál 10CrMo9-10.....	34
Obrázek 6-4 - Rozdělení potrubních tříd podle tlakoteplotních stupňů CLASS pro materiál A335-P22 .....	34
Obrázek 6-5 - Znázornění jednotlivých přídavků vůči tloušťce stěny [16] .....	38
Obrázek 6-6 - Ukázka pracovního souboru pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí podle norem EN v závislosti na typu oceli, teplotě a DN .....	39
Obrázek 6-7 - 10CrMo9-10 – DN 250 – Ukázka rozdělení na potrubní třídy při výpočtu podle norem EN .....	39
Obrázek 6-8 - 10CrMo9-10 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů .....	40
Obrázek 6-9 - Ukázka pracovního souboru pro výpočet tloušťky stěny přímého potrubí podle norem ASME v závislosti na typu oceli, teplotě a DN .....	44
Obrázek 6-10 – A335-P22 – DN 250 – Ukázka rozdělení na potrubní třídy při výpočtu podle norem ASME.....	44
Obrázek 6-11 - A335-P22 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů .....	45
Obrázek 6-12 - Ukázka výpočtového souboru pracnosti svařovacího procesu pro skupinu materiálů 6.4.....	46
Obrázek 6-13- Kalkulátor pro výpočet svarového spoje [39] .....	46
Obrázek 6-14 - Nákresy pro výpočet množství svarového spoje podle typu přípravy spoje (po řadě I, V, W) .....	47
Obrázek 6-15 - P265GH - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů .....	52
Obrázek 6-16 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 - určení tloušťky stěny přímého potrubí podle výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů .....	52
Obrázek 6-17 - P265GH - DN 250 – cena za 1 metr potrubí vyjádřen pomocí tisíců PJ .....	53
Obrázek 6-18 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – cena za 1 metr potrubí vyjádřen pomocí tisíců PJ .....	53
Obrázek 6-19 - P265GH - DN 250 - montáž ČR - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ .....	56
Obrázek 6-20 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – montáž ČR - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ.....	56

Obrázek 6-21 - P265GH - DN 250 – montáž západní Evropa - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ.....	57
Obrázek 6-22 - X10CrMoVNb9-1 - DN 250 – montáž západní Evropa - cena za 20 svarů potrubní trasy vyjádřena pomocí tisíců PJ .....	57
Obrázek 6-23 - DN 250 - materiály podle EN - montáž ČR - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu.....	59
Obrázek 6-24 - DN 250 -materiály podle EN - montáž západní Evropa - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu .....	59
Obrázek 6-25 - DN 250 - materiály podle ASME - montáž ČR - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu .....	60
Obrázek 6-26 - DN 250 - materiály podle ASME - montáž západní Evropa - volba finančně nejvýhodnějšího materiálu .....	60

## 10 Seznam tabulek

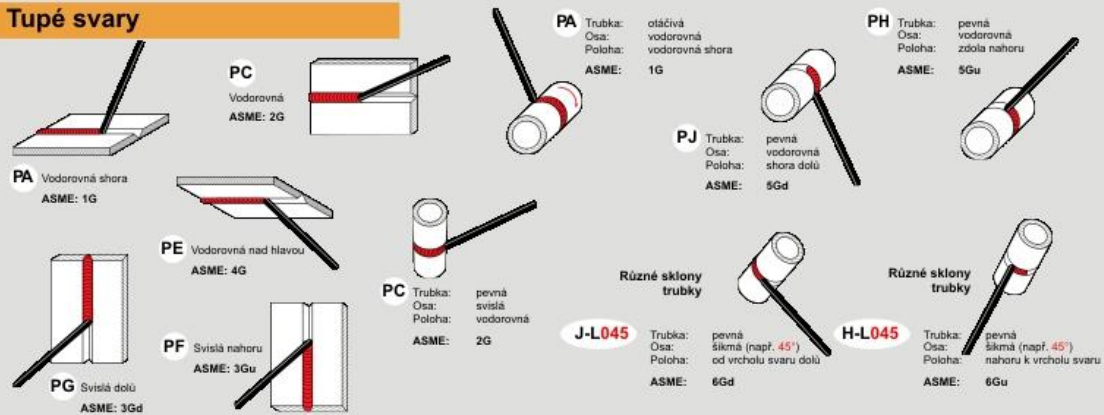
Tabulka 3-1 - Oceli určené k posouzení v diplomové práci s odpovídajícími ekvivalenty mezi normami .....	8
Tabulka 3-2 - Rozdělení materiálů do svařovacích skupin podle normy TNI CEN ISO/TR 15608 .....	8
Tabulka 3-3 - Chemické složení materiálů P235GH [13] a A106-A [5] .....	10
Tabulka 3-4 - Chemické složení materiálů P265GH [13] a A106-B [5] .....	10
Tabulka 3-5 - Chemické složení materiálů 16Mo3 [13], A335-P11 [5] a A335-P11 [5] .....	11
Tabulka 3-6 - Chemické složení materiálů 10CrMo9-10 [13] a A335-P22 [5] .....	11
Tabulka 3-7 - Chemické složení materiálů X10CrMoNb9-1 [13] a A335-P91 [5] .....	12
Tabulka 4-1 - Rozdělení feritických materiálů pro tlakoteplotní stupně dle normy ČSN EN 1092-1 .....	17
Tabulka 4-2 - Rozdělení materiálů pro tlakoteplotní stupně dle normy B16.34 .....	19
Tabulka 4-3 - Tabulka výpočtových hodnot tlakoteplotních stupňů PN 400 [12] a CLASS 4500 [1] .....	23
Tabulka 5-1 - Tabulka tepelného zpracování po svařování podle ČSN EN 13480-4 .....	30
Tabulka 5-2 - Rozsah zkoušení obvodových svarů definovaných podle ČSN EN 13480-5 .....	31
Tabulka 5-3 - Obecně uznávané NDT metody podle ČSN EN ISO 17635 .....	31
Tabulka 6-1 - Preferované průměry a tloušťky stěn ČSN EN 10253-2 .....	37
Tabulka 6-2 - Mezní úchytky tloušťky stěny ČSN EN 10216-2 .....	37
Tabulka 6-3 - Preferované průměry a tloušťky stěn podle ASME B36.10M-2004 .....	43
Tabulka 6-4 - Jednotlivé ceny za 1 kg potrubí .....	51
Tabulka 6-5 - Porovnání cen za svařování materiálů P265GH a X10CrMoVNb9-1 pro parametry páry 6 MPa(g) a 350 °C .....	58
Tabulka 6-6 - Přehled cen za materiál a počtu metrů k obratu ve volbě materiálu pro parametry páry 6 MPa(g) a 350 °C .....	61

## **Příloha 1 – Přehled pracovních poloh při svařování [36]**

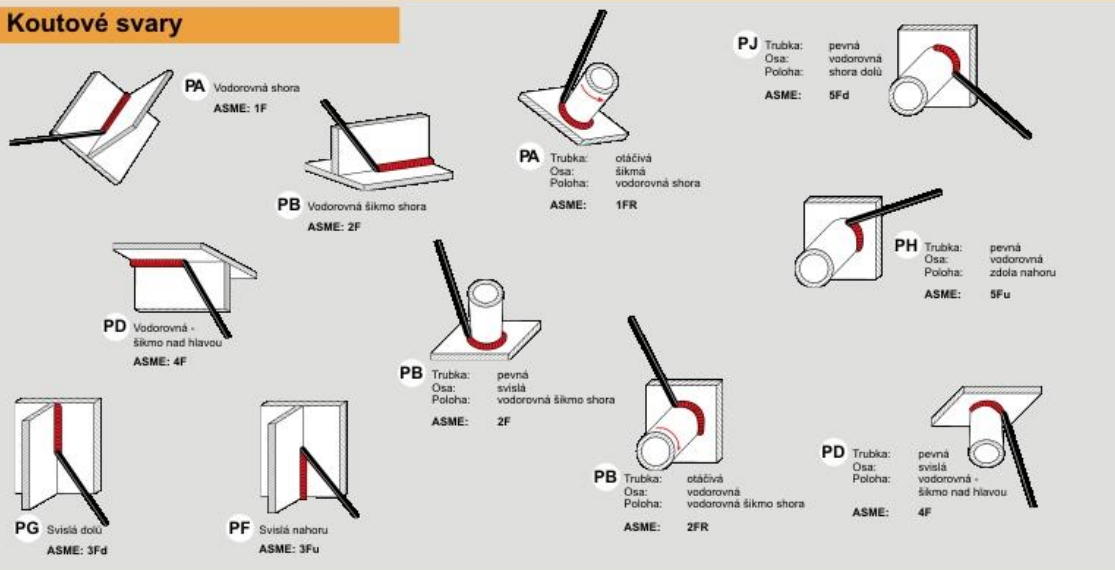


## Přehled pracovních poloh při svařování dle EN ISO 6947 včetně kódů ASME

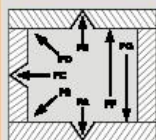
### Tupé svary



### Koutové svary



### Legenda k použitým zkratkám - polohy



<b>PA</b> Vodorovná shora	<b>PD</b> Vodorovná šikmo nad hlavou	<b>PG</b> Svislá dolů
<b>PB</b> Vodorovná šikmo shora	<b>PE</b> Vodorovná nad hlavou	<b>PH</b> Svařování trubky zdola nahoru
<b>PC</b> Vodorovná	<b>PF</b> Svislá nahoru	<b>PJ</b> Svařování trubky shora dolů
		<b>PK</b> Orbitální svařování trubek (bez obrázku)



## **Příloha 2 – Přehledové mapy**

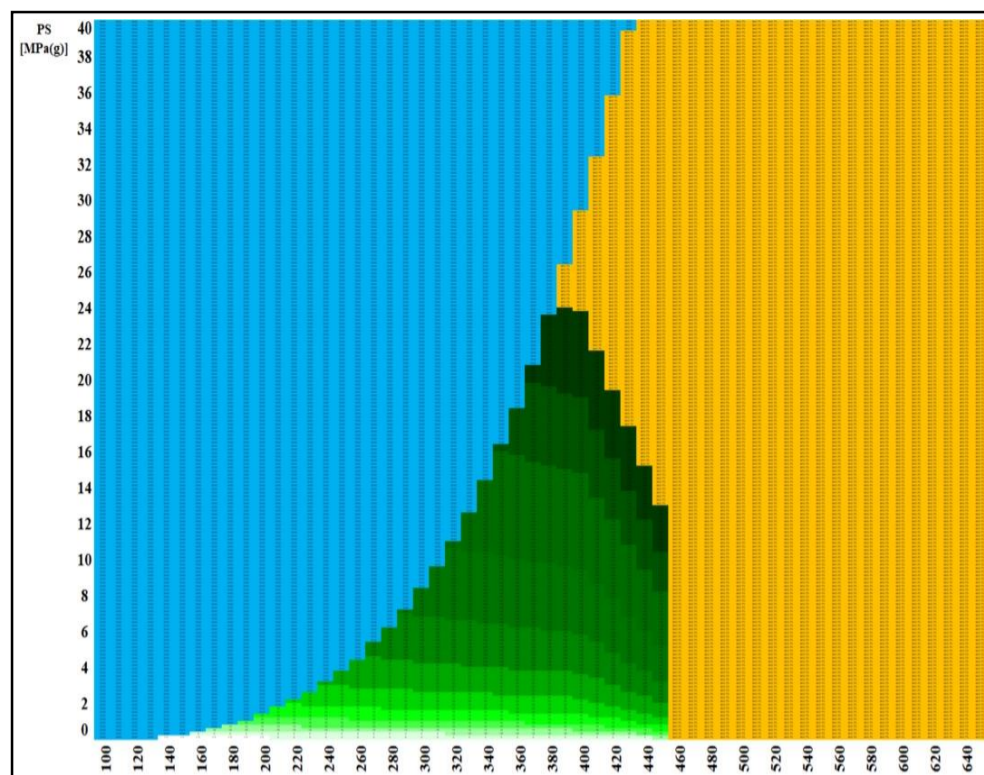
**(vloženy zezadu ve formátu A2)**

## **Příloha 2.1**

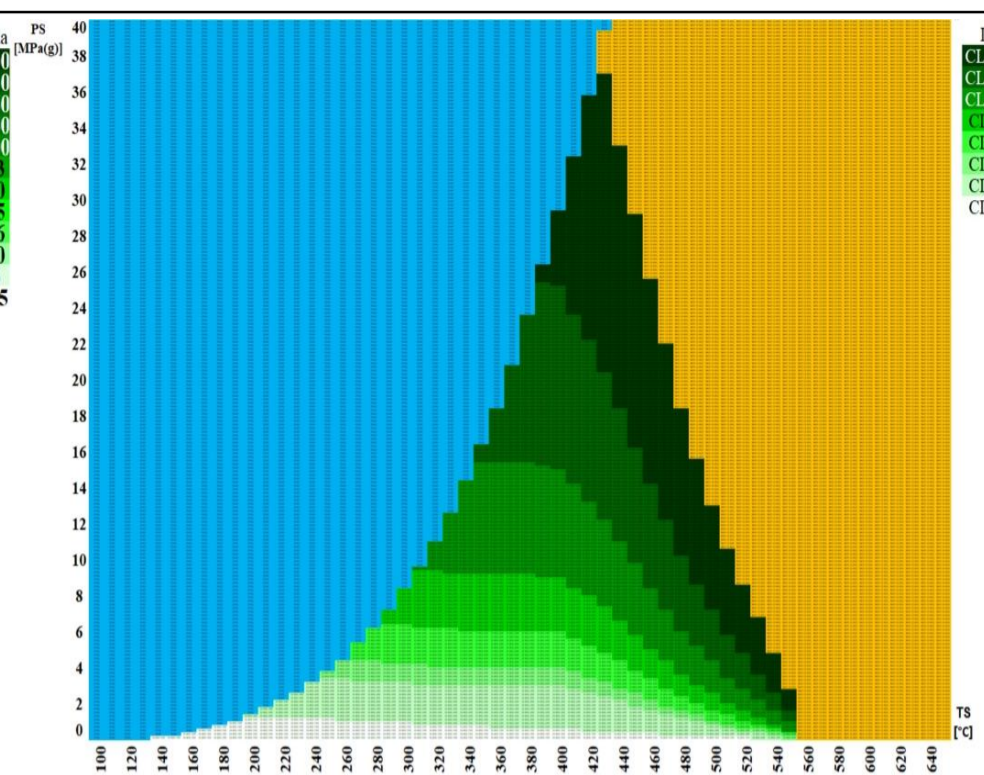
-

**Rozdělení tlakoteplotních stupňů podle parametrů páry**

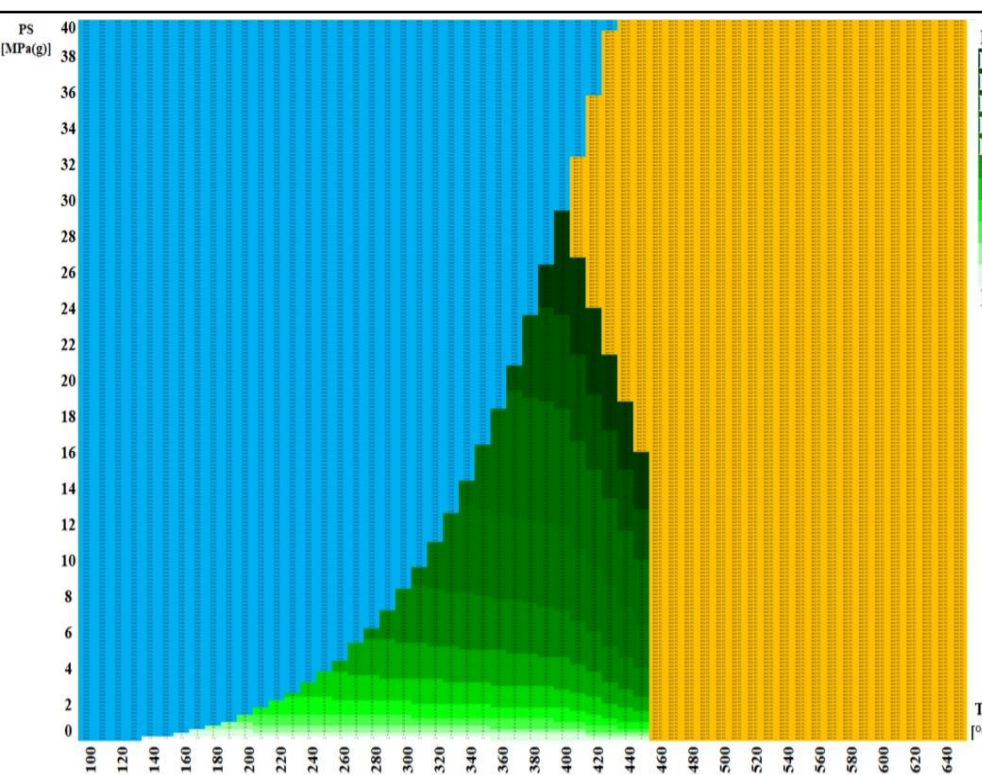




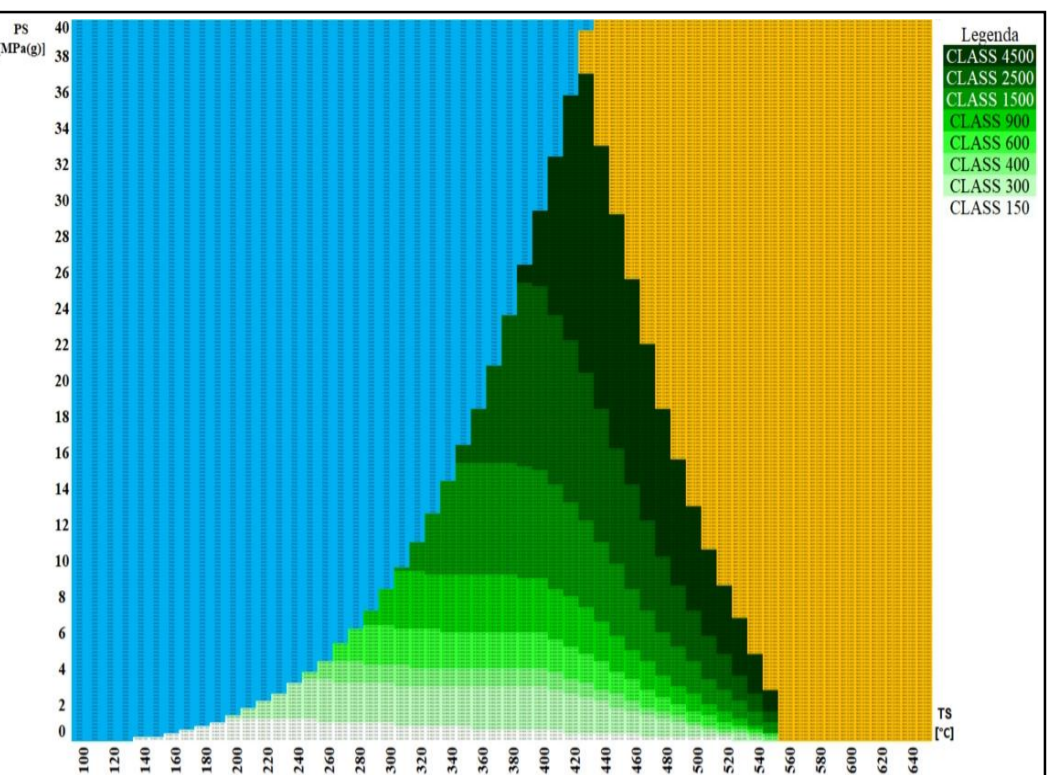
**P235GH**



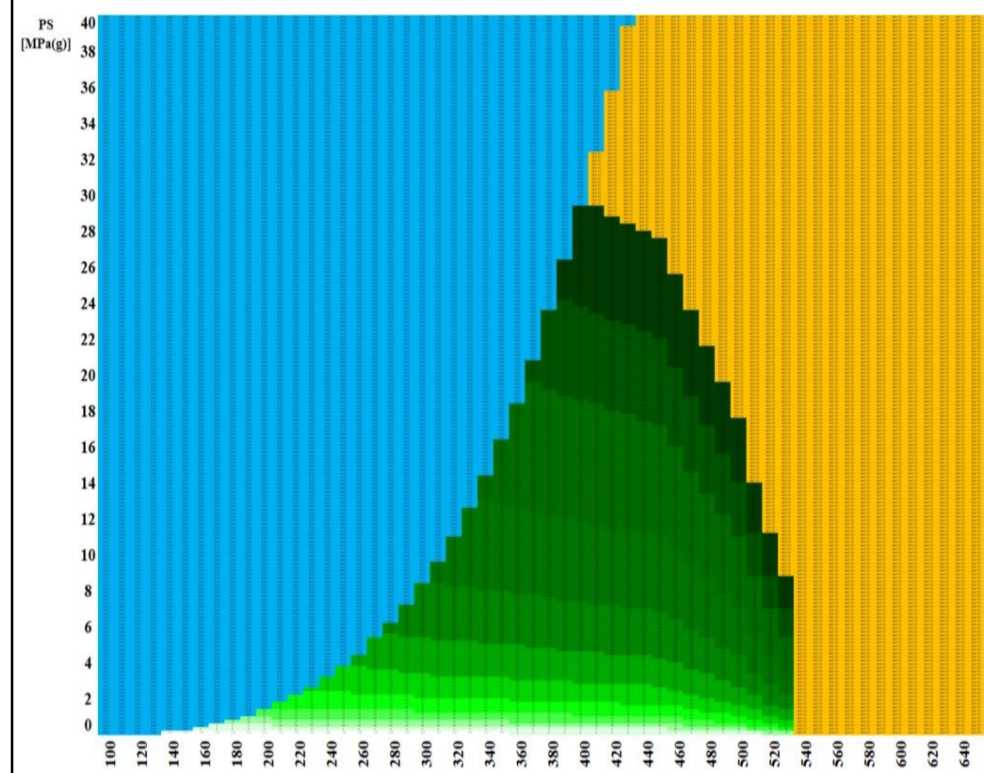
**A106-A**



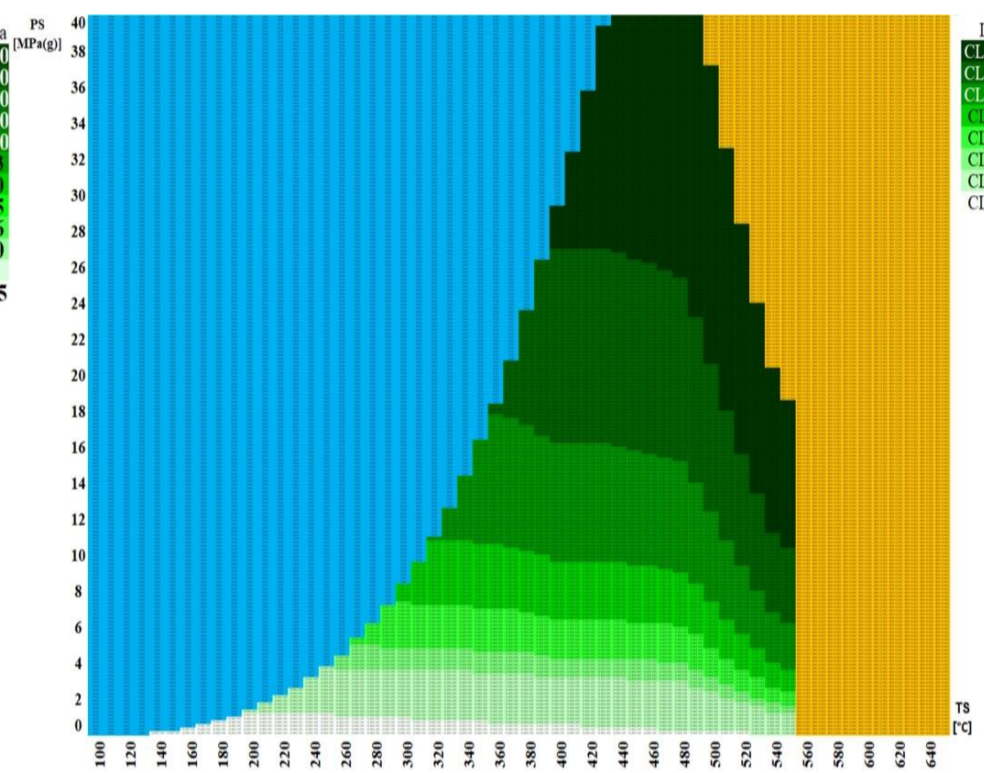
**P265GH**



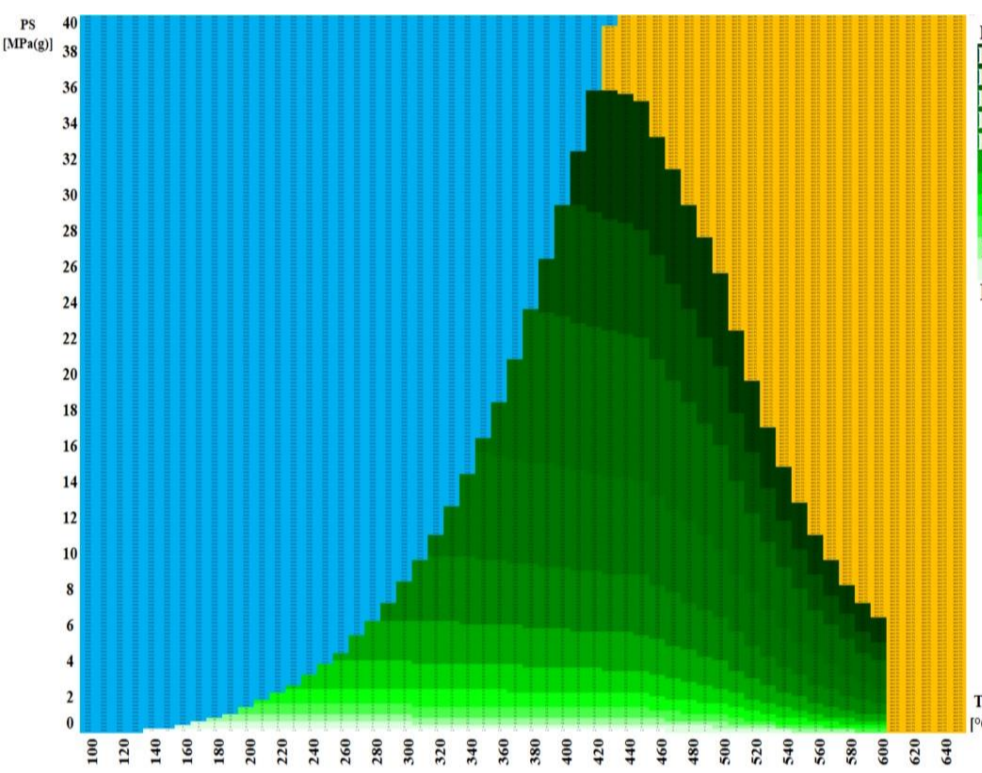
**A106-B**



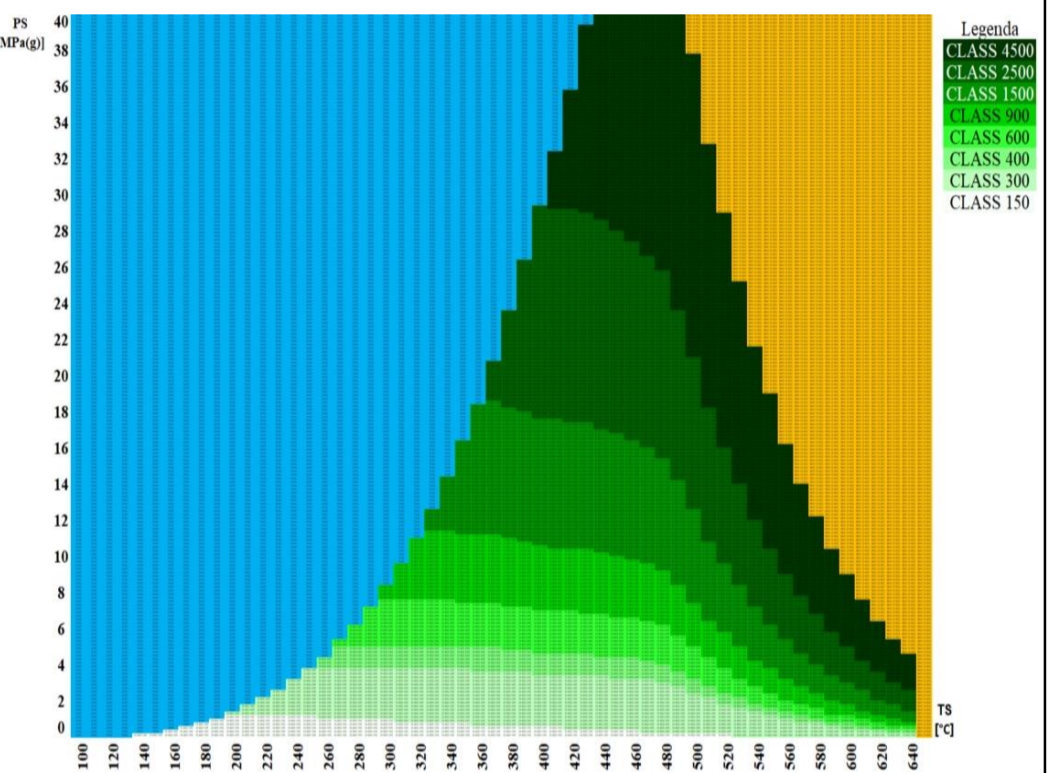
**16Mo3**



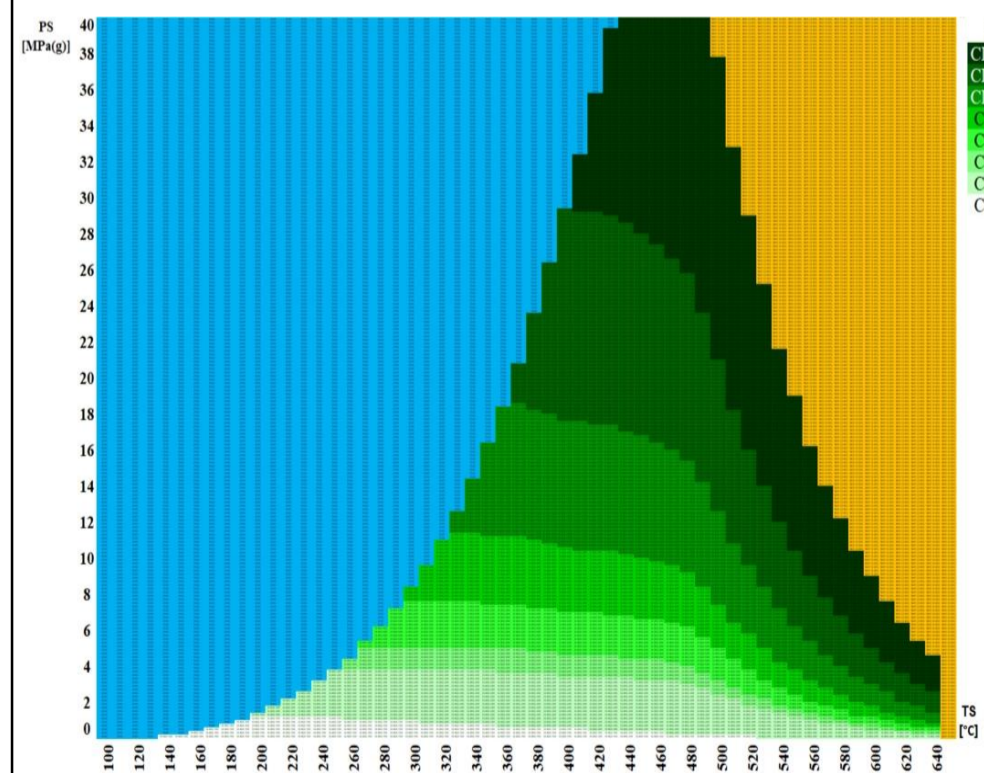
**A335-P1**



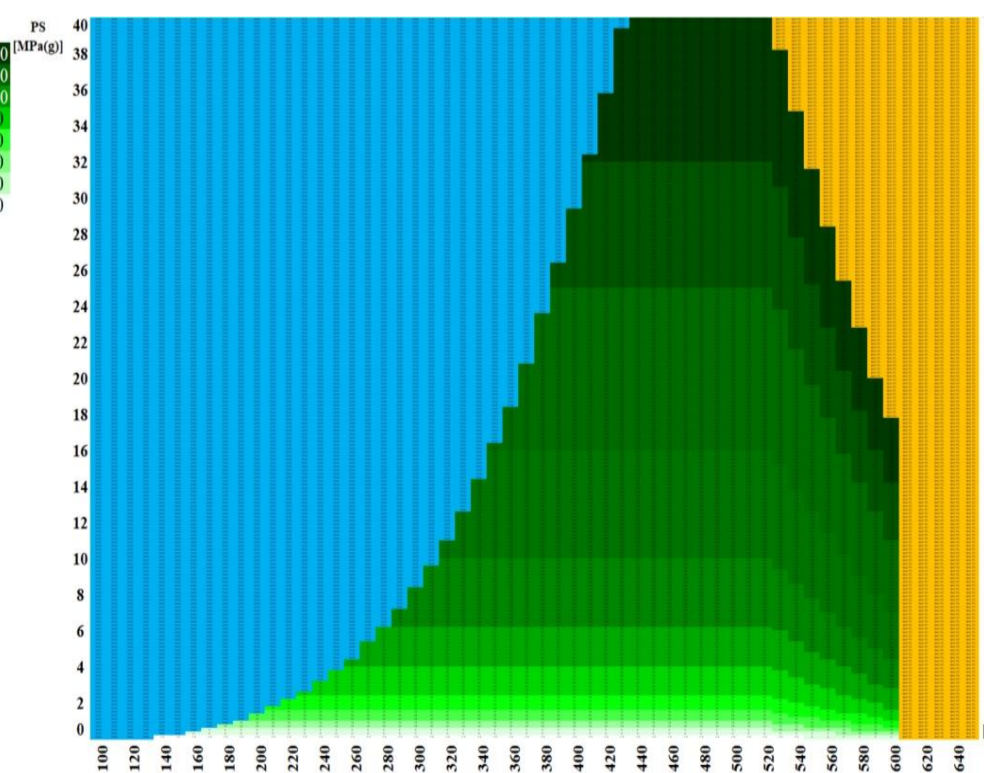
**10CrMo9-10**



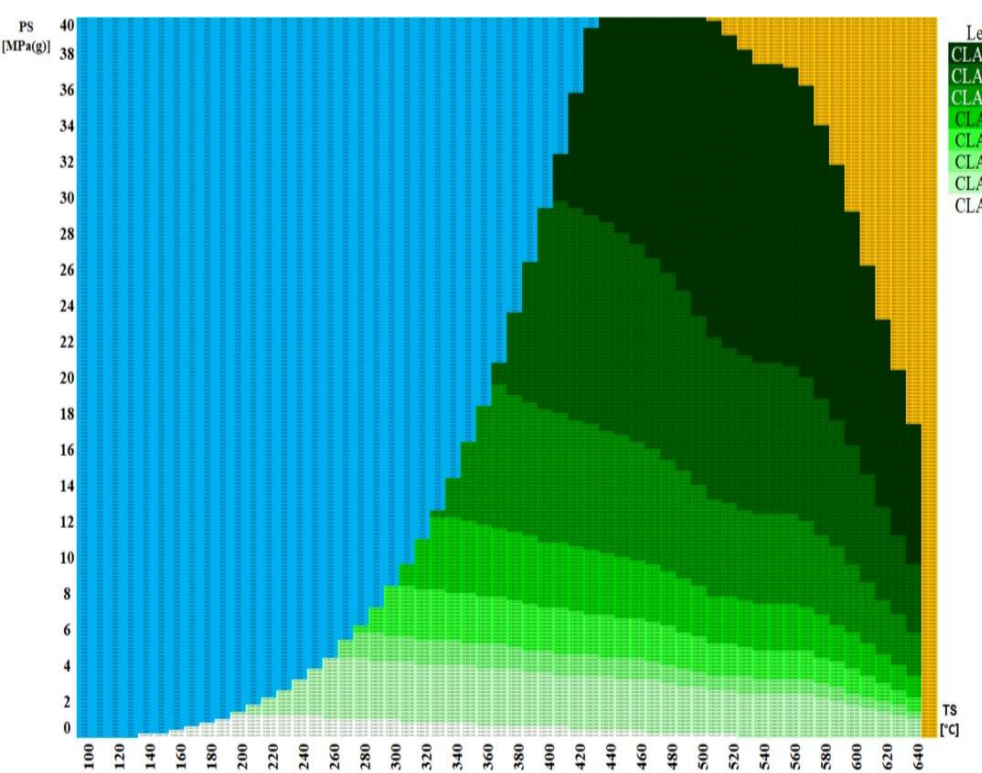
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

*Tlakoteplotní stupně –  
rozdělení podle  
výpočtového vnitřního  
přetlaku vůči okolí a  
teploty páry*

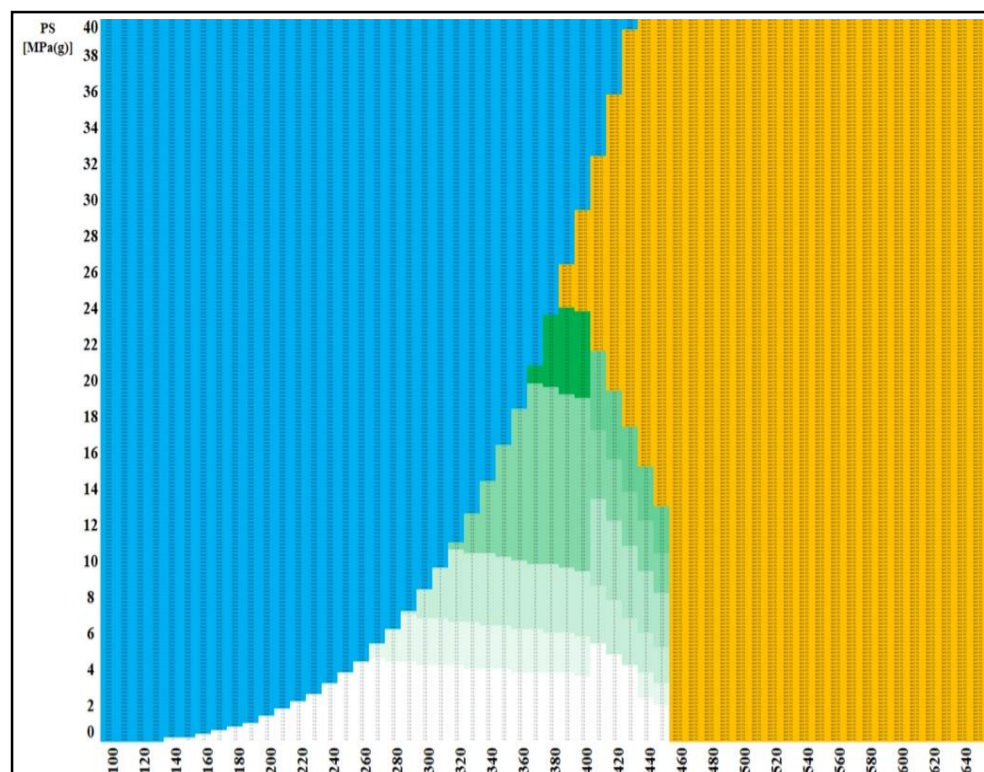
Voda

Není definován tlakoteplotní stupeň

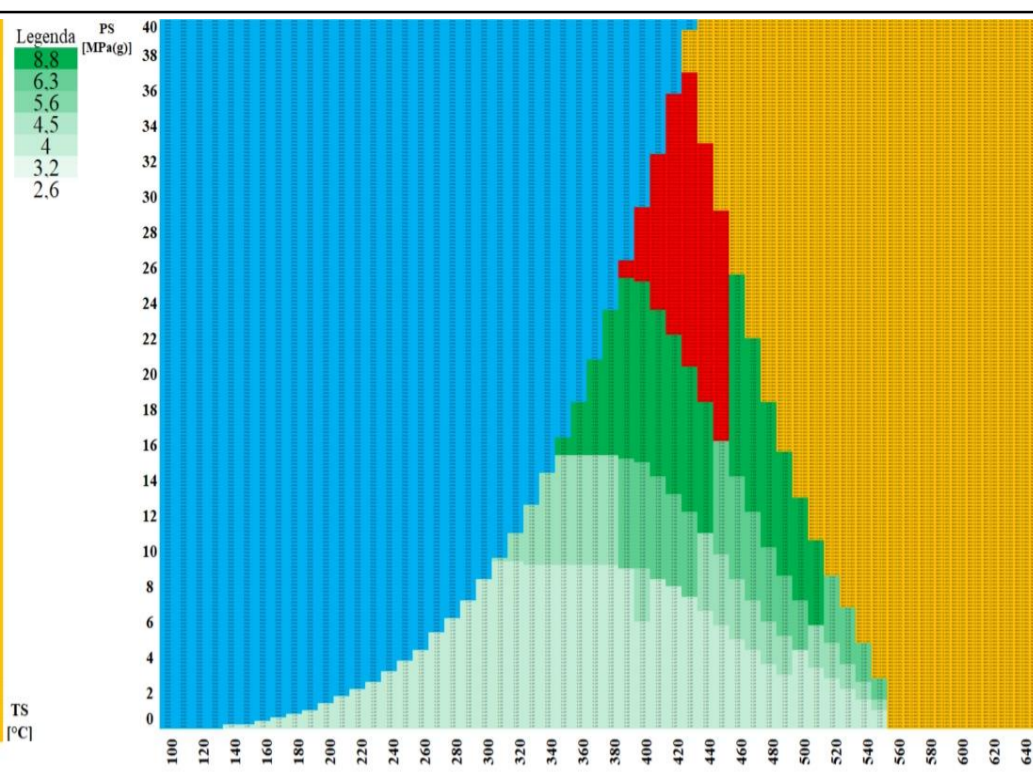
## **Příloha 2.2**

-

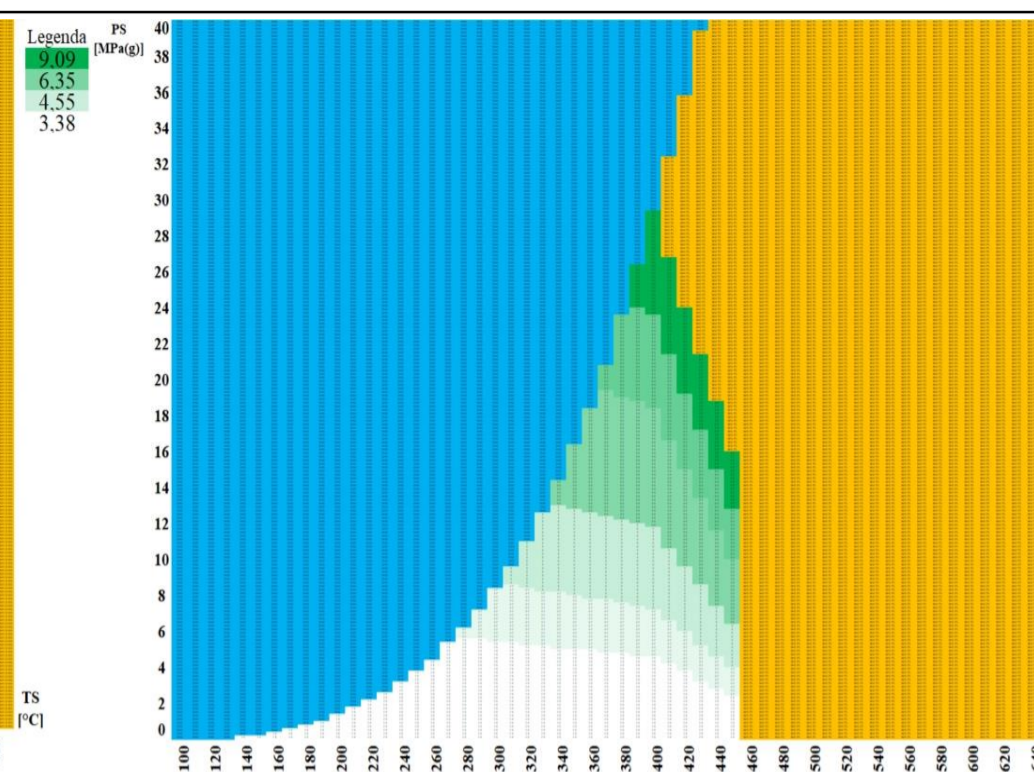
**Vypočtená tloušťka stěny přímého potrubí podle parametrů  
páry**



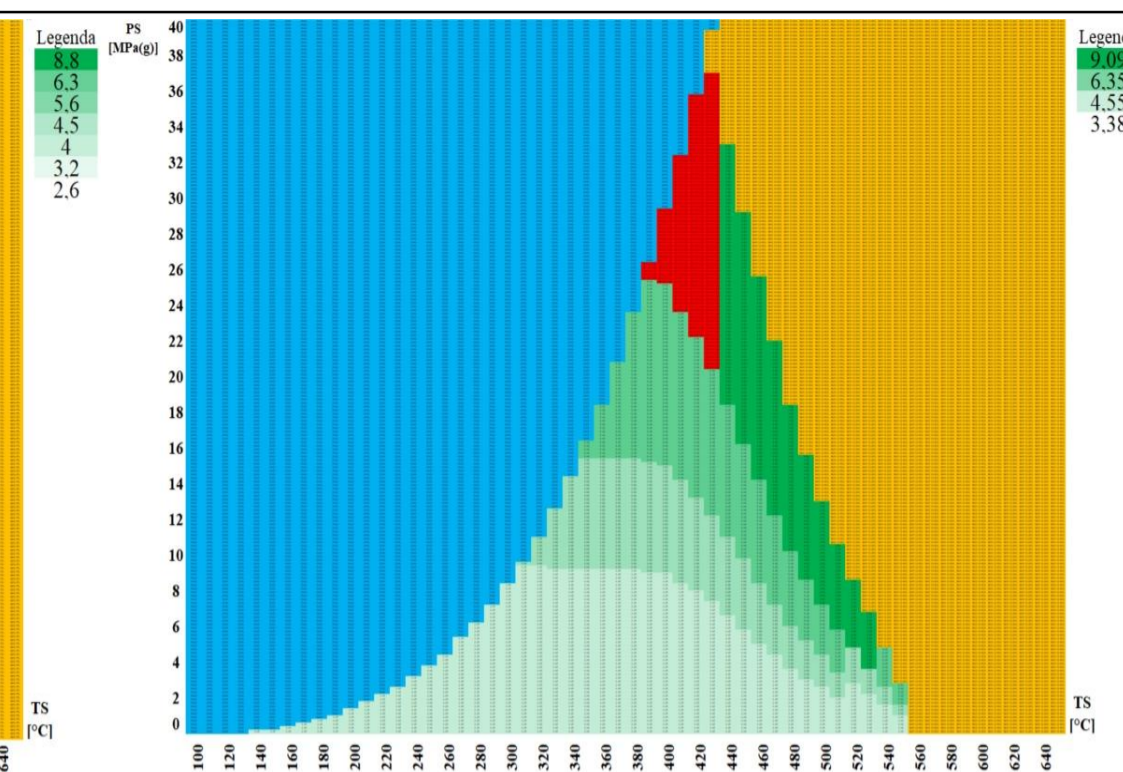
**P235GH**



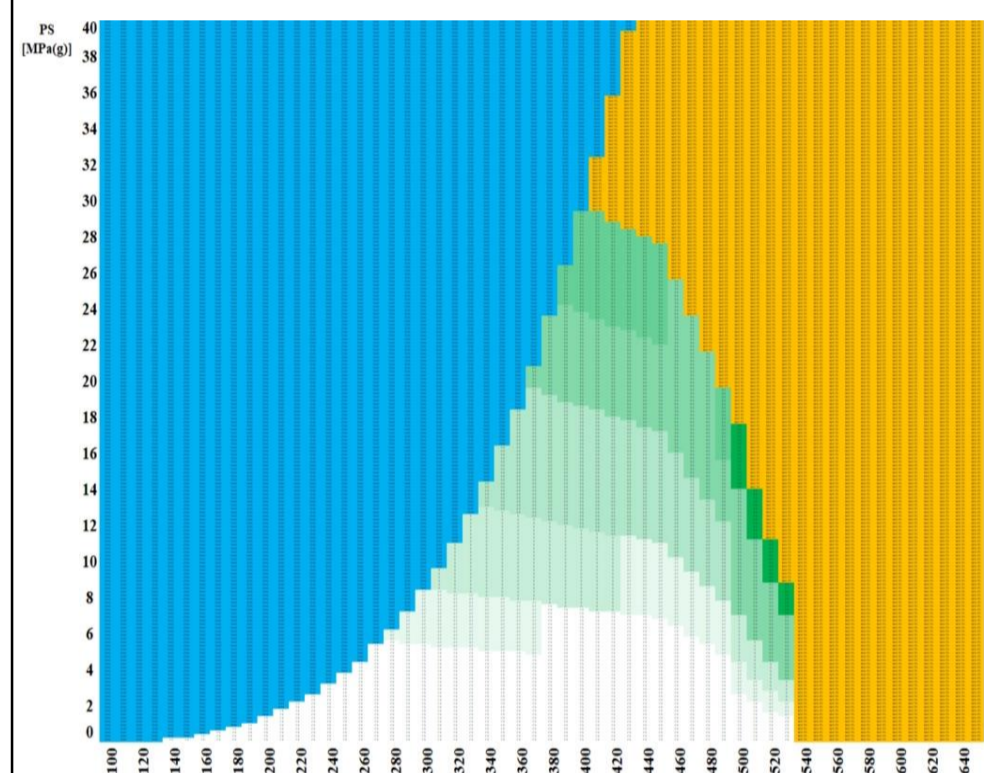
**A106-A**



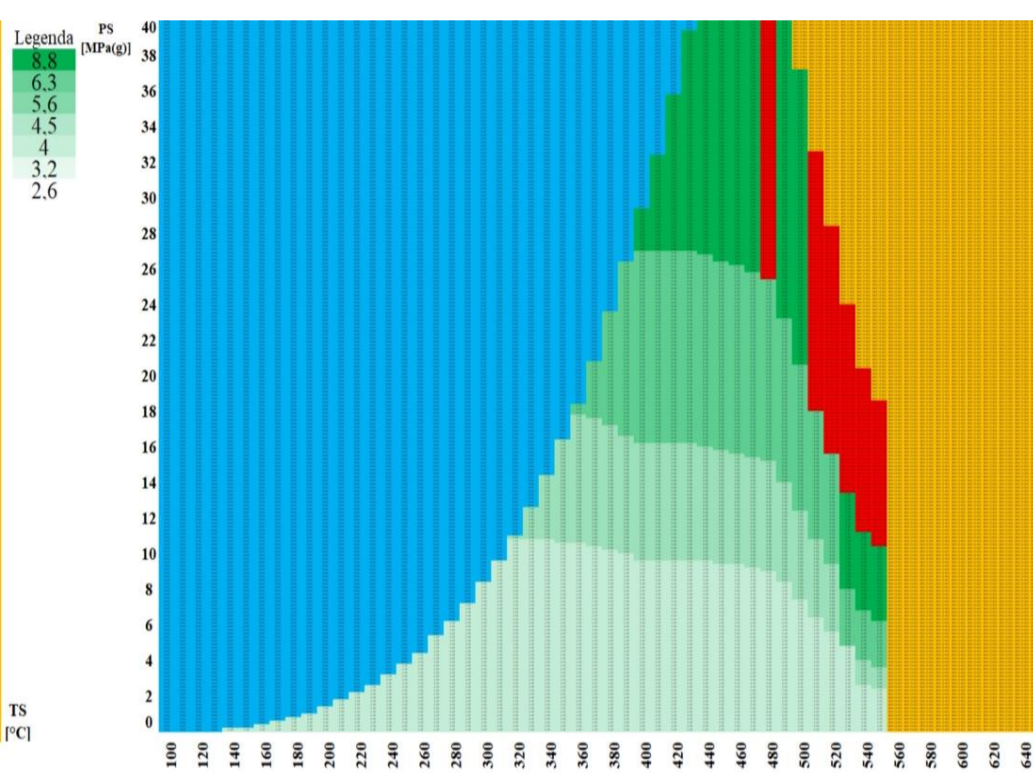
**P265GH**



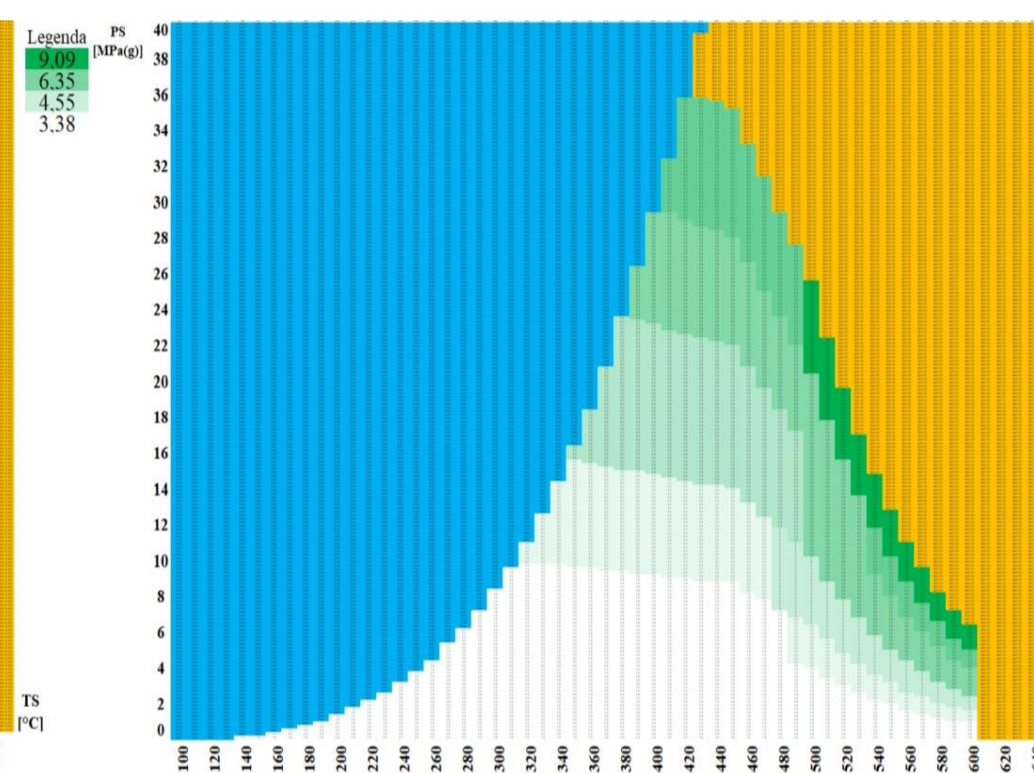
**A106-B**



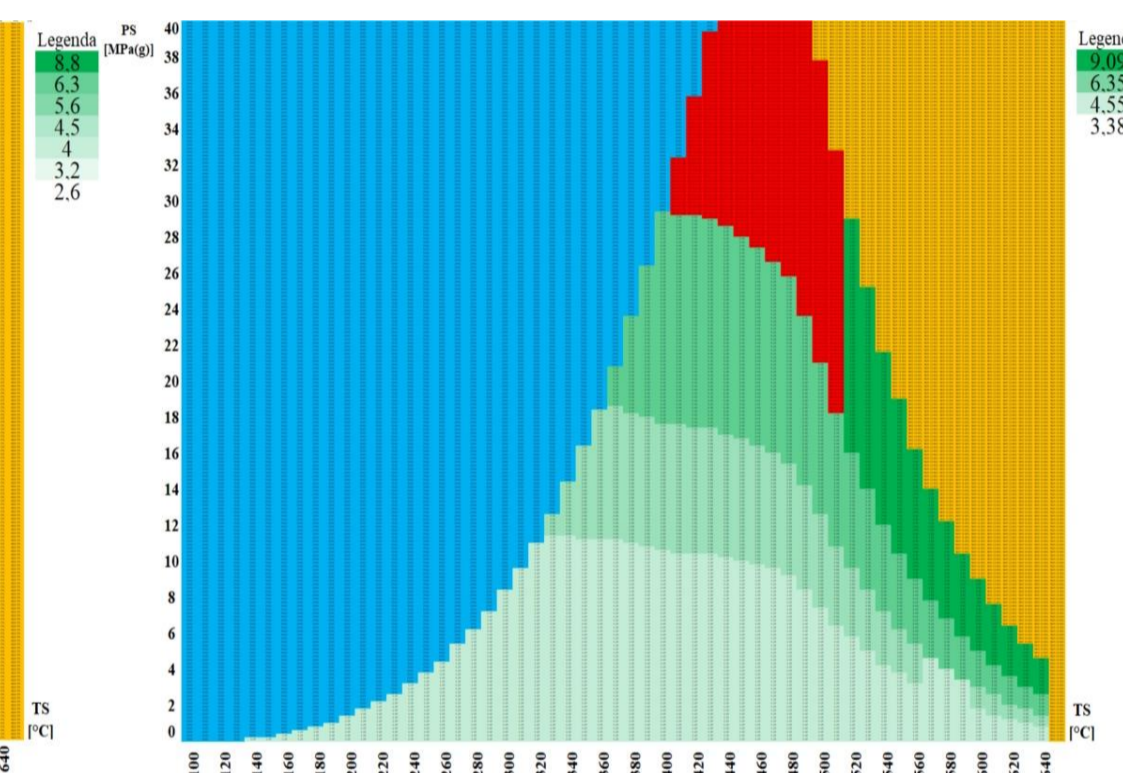
**16Mo3**



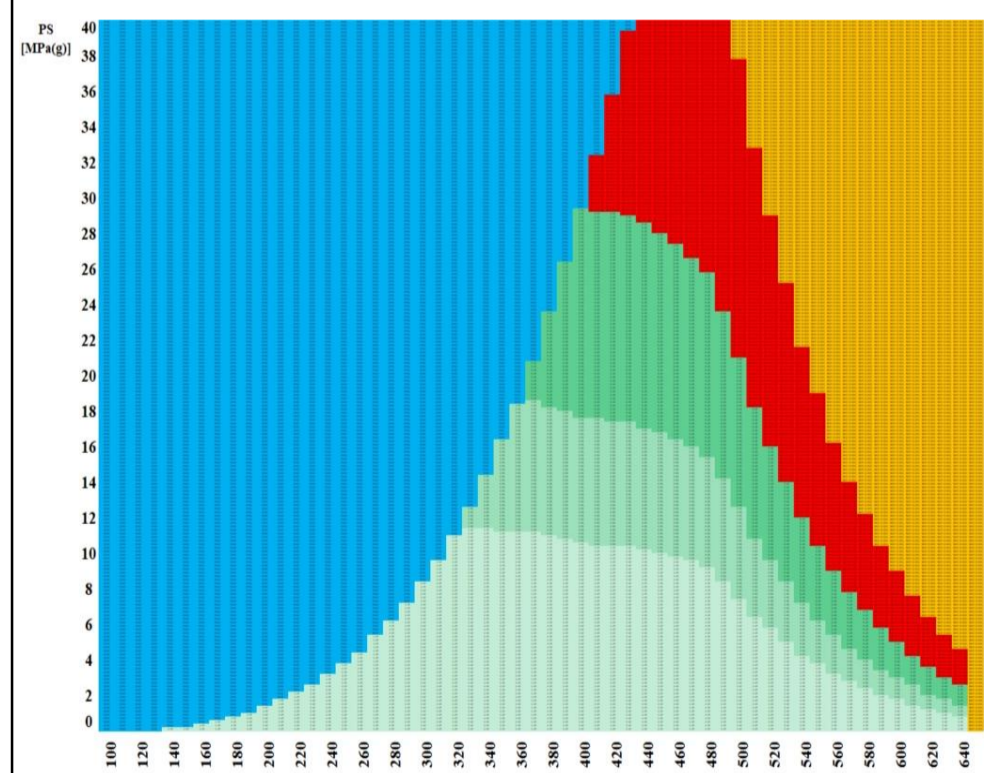
**A335-P1**



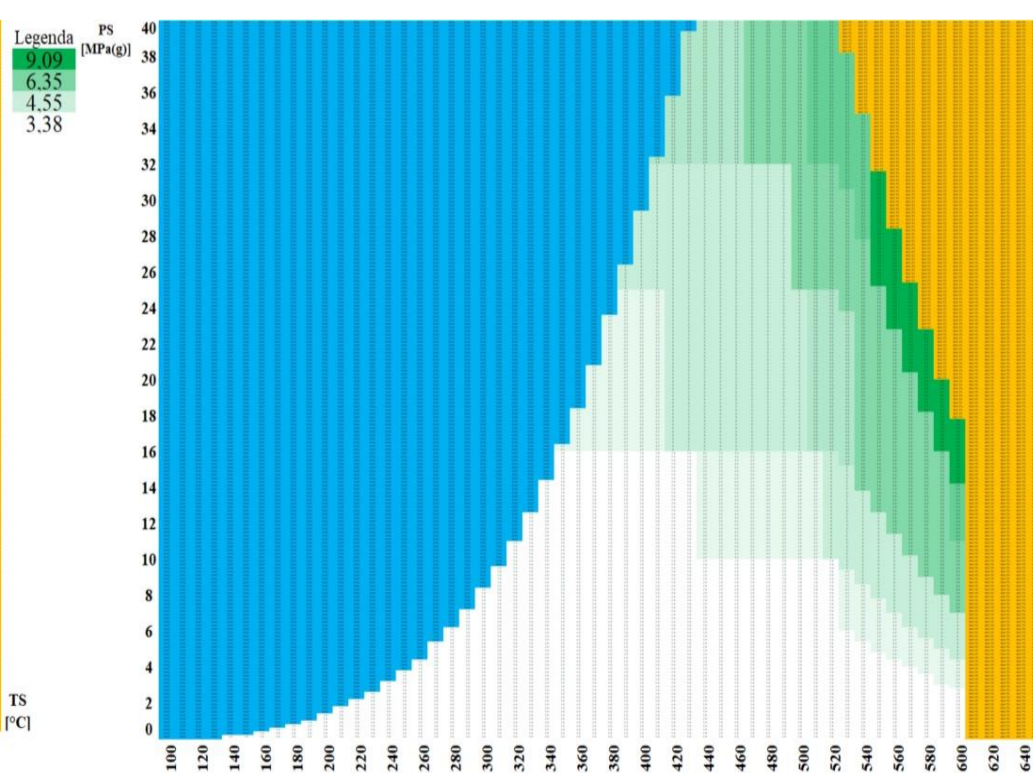
**10CrMo9-10**



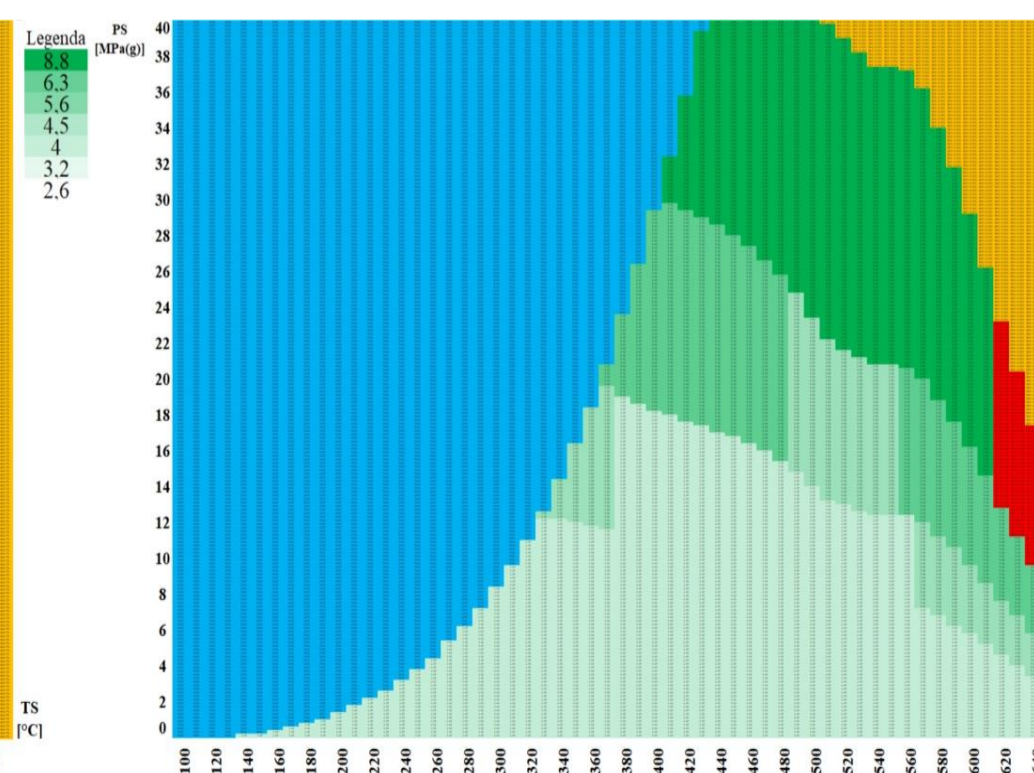
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



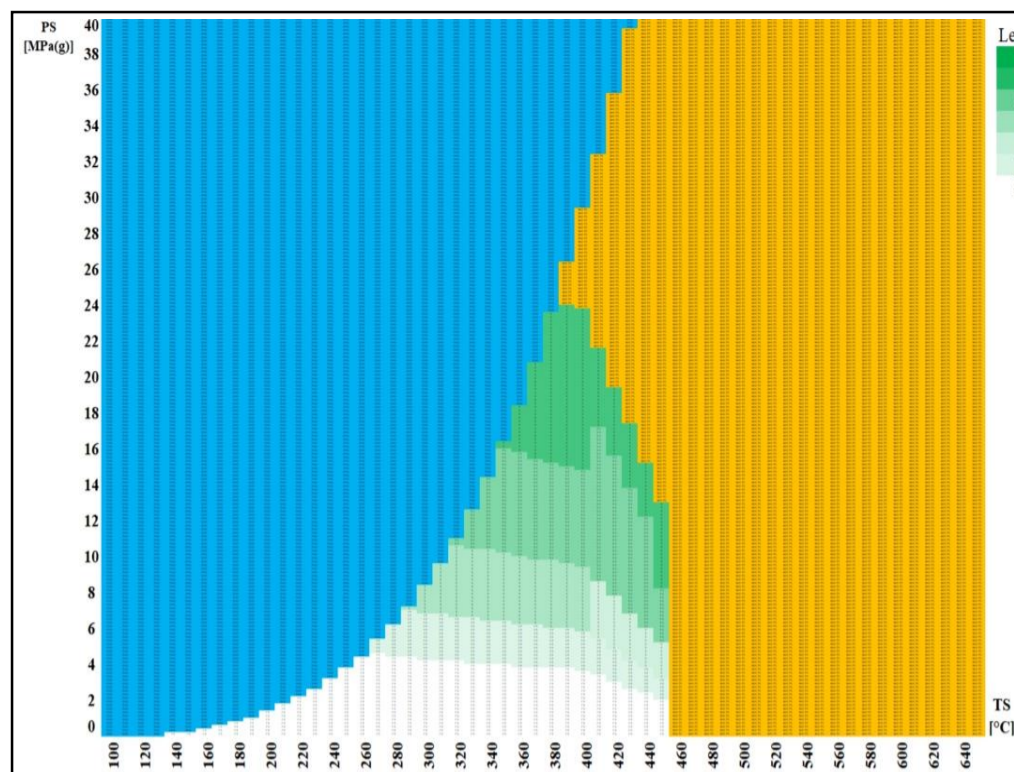
**A335 – P91**

*DN 25 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

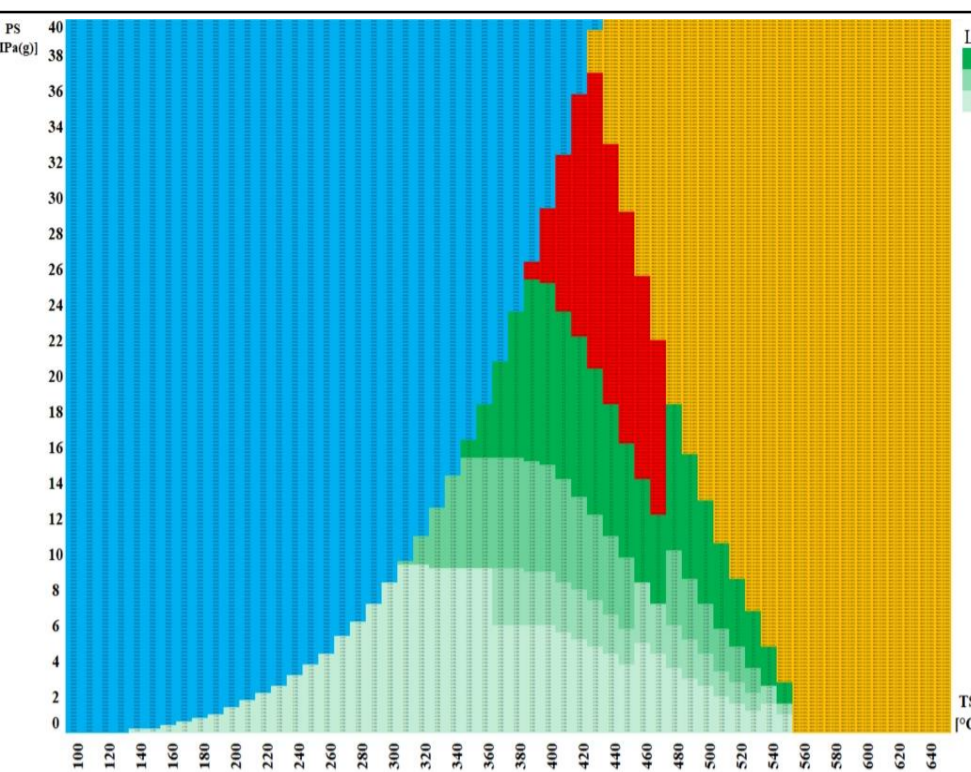
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

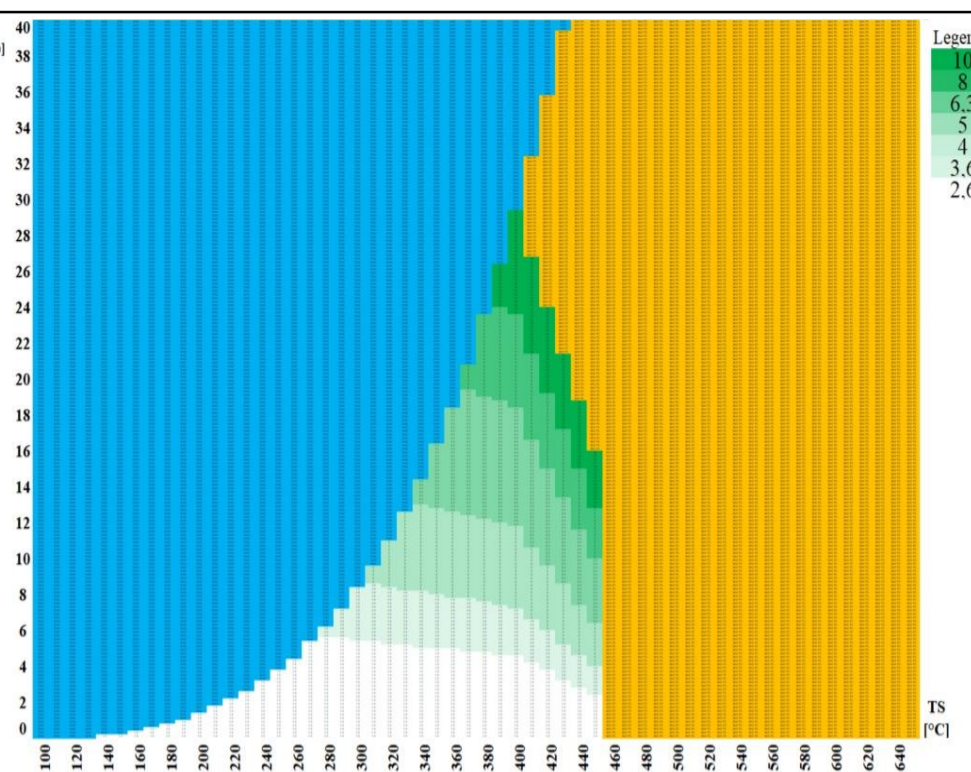
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



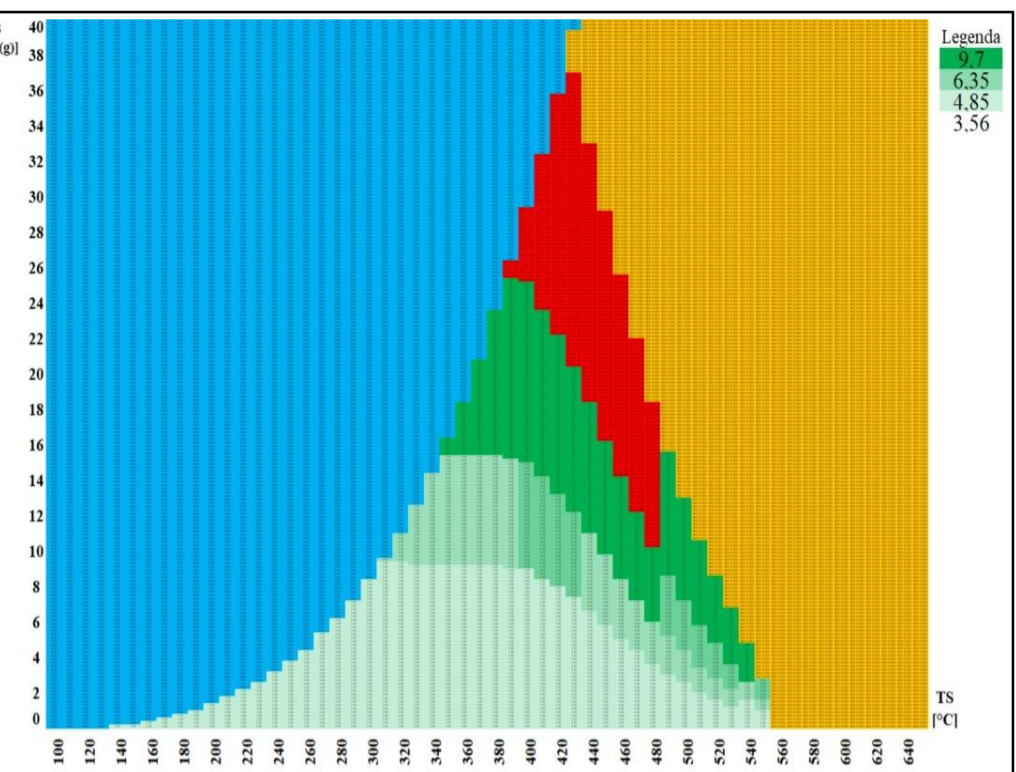
**P235GH**



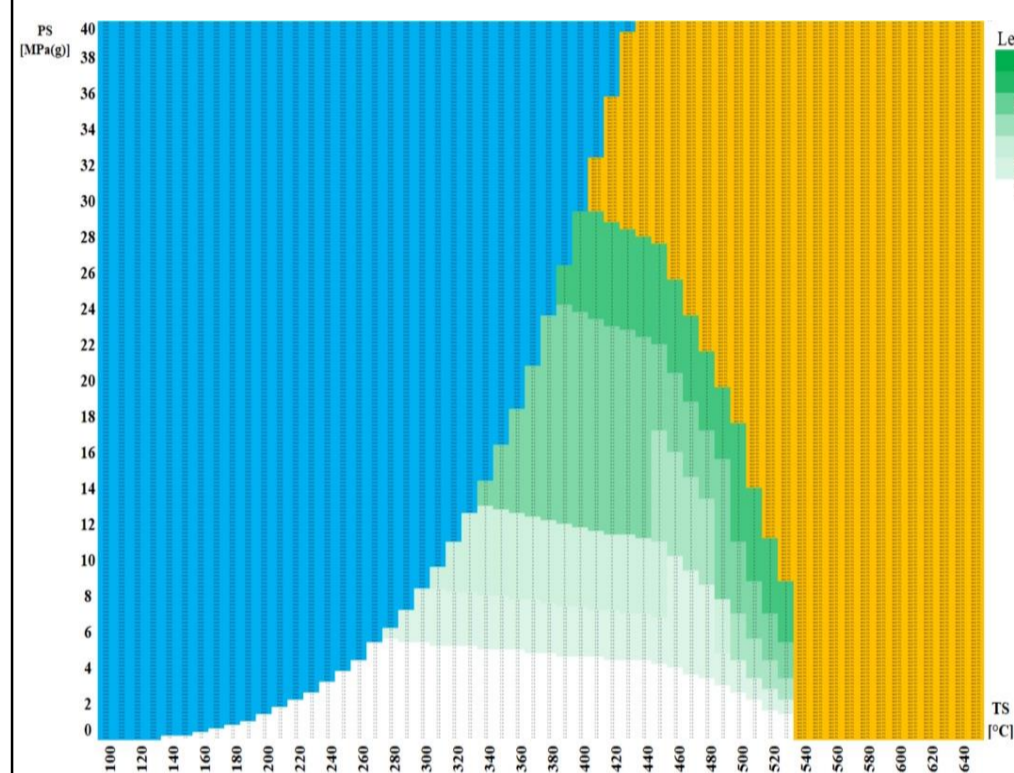
**A106-A**



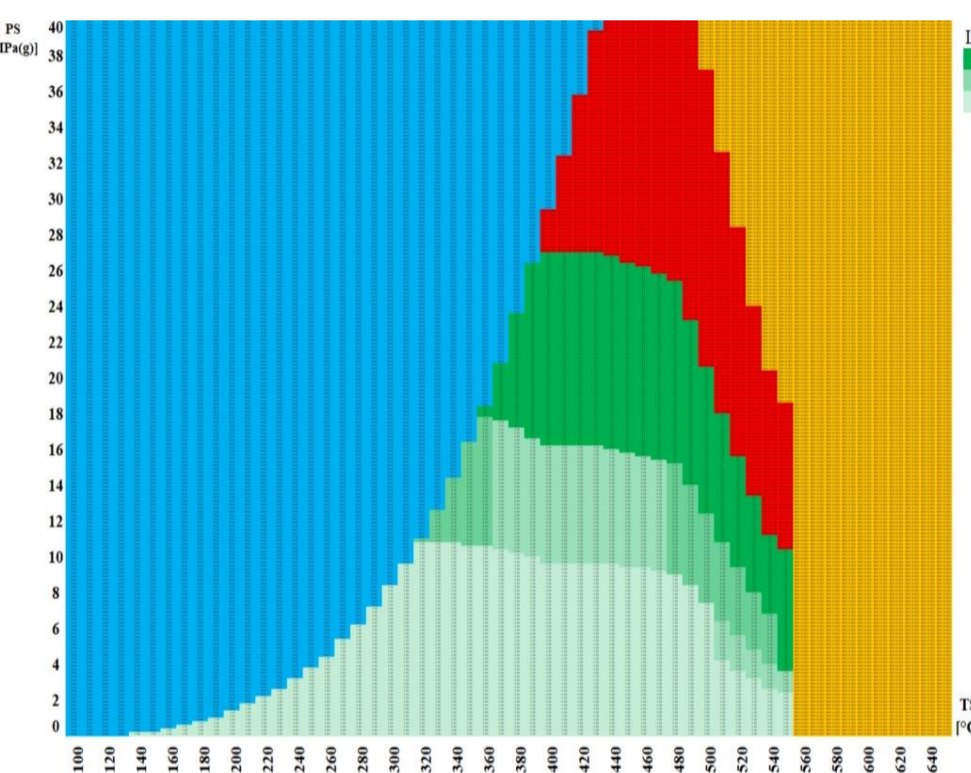
**P265GH**



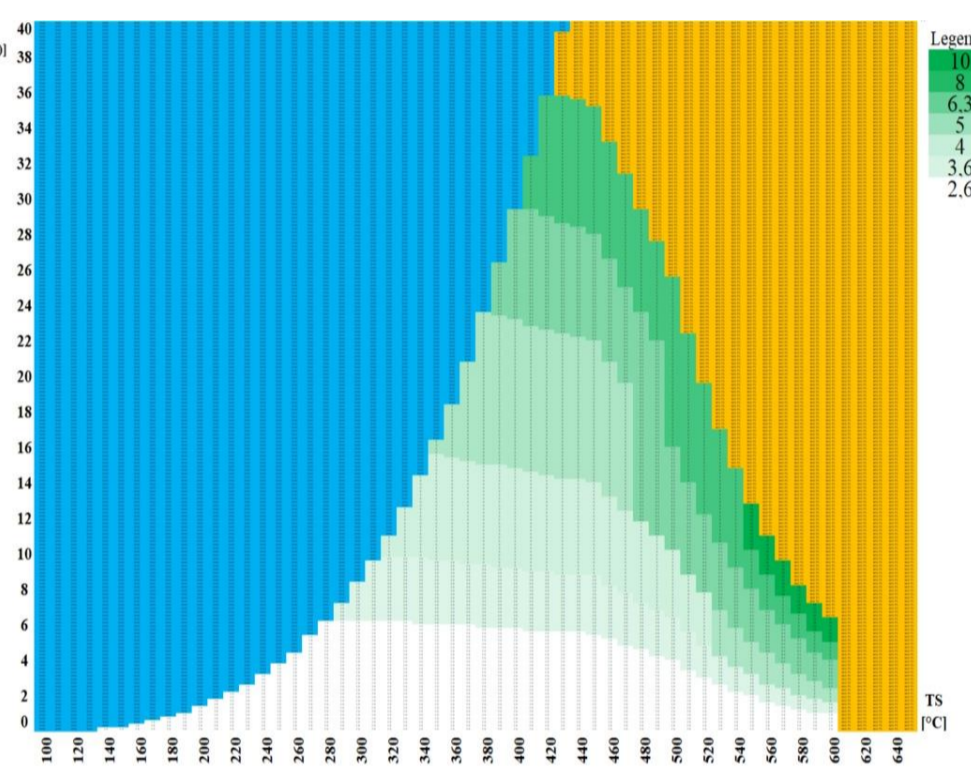
**A106-B**



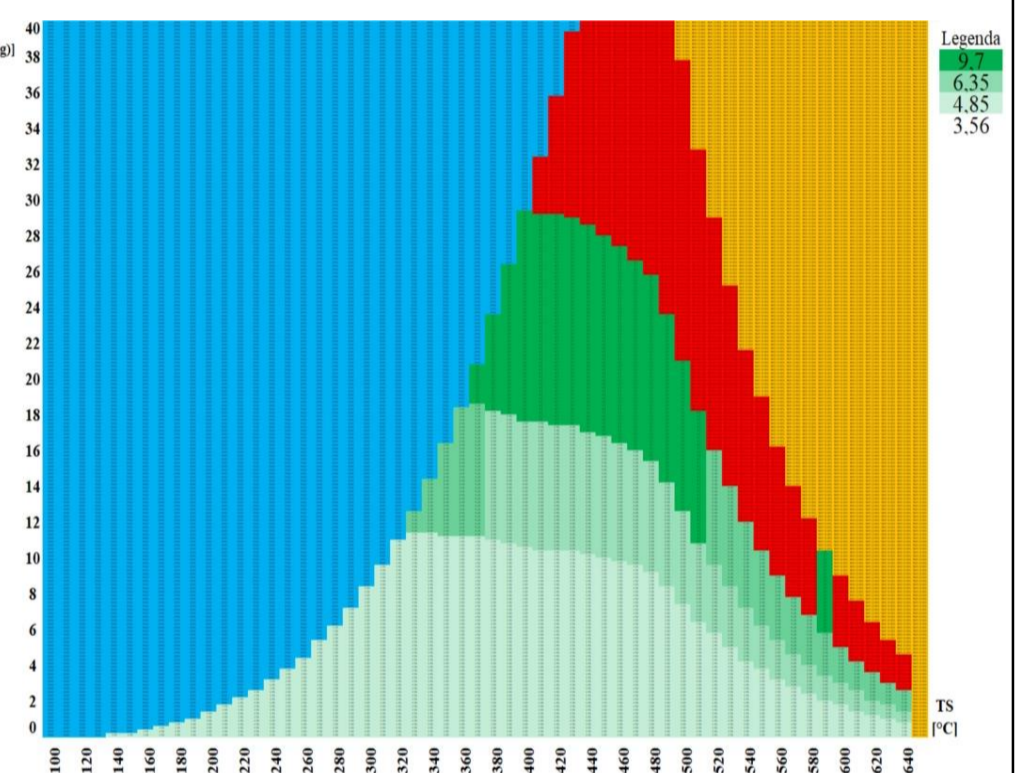
**16Mo3**



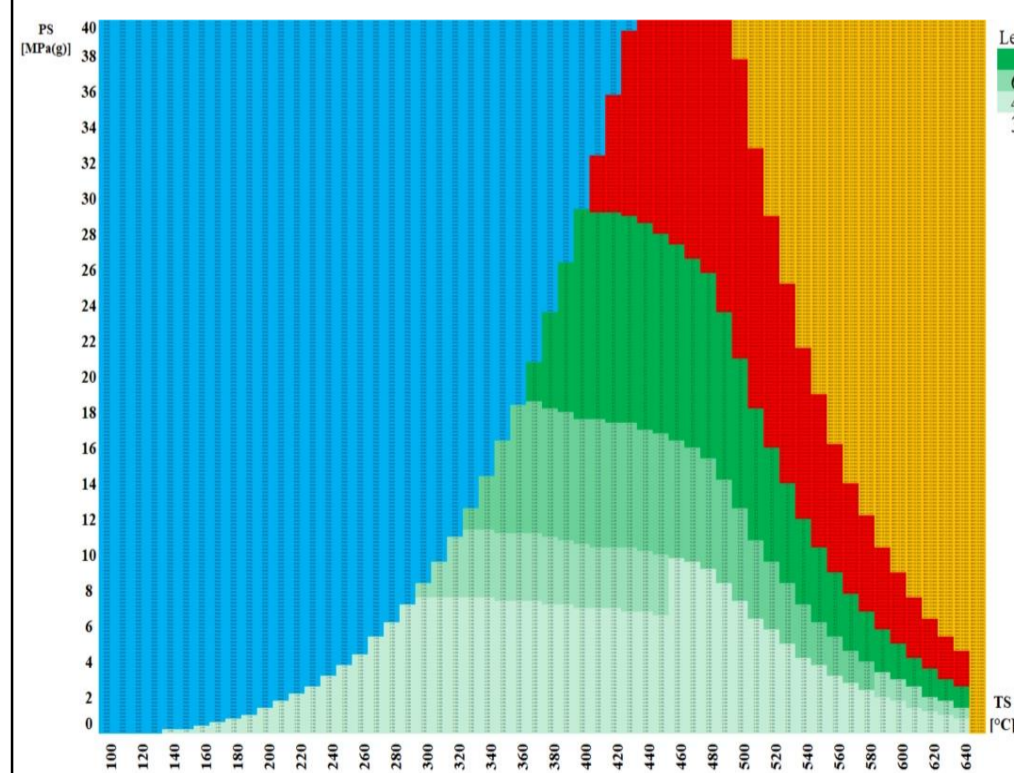
**A335-P1**



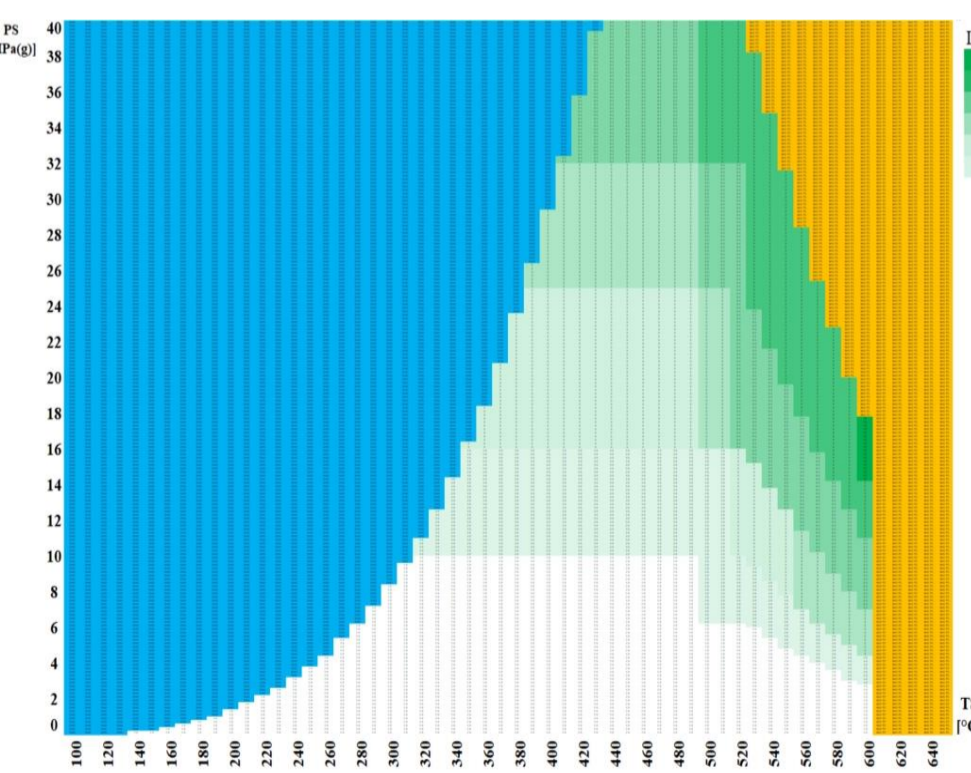
**10CrMo9-10**



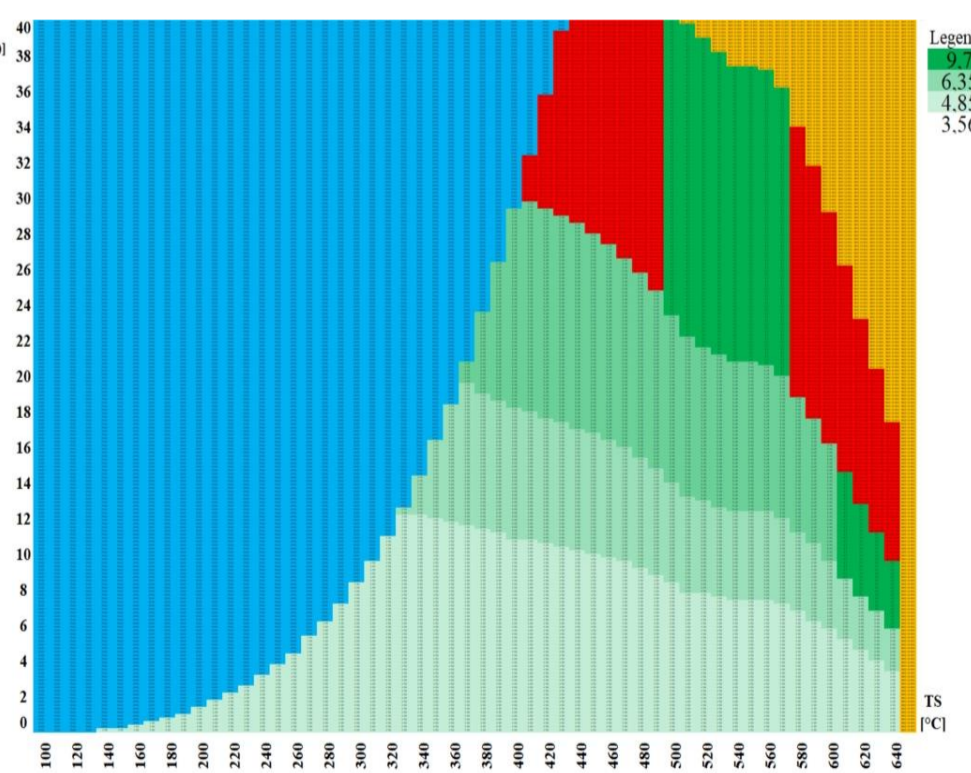
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



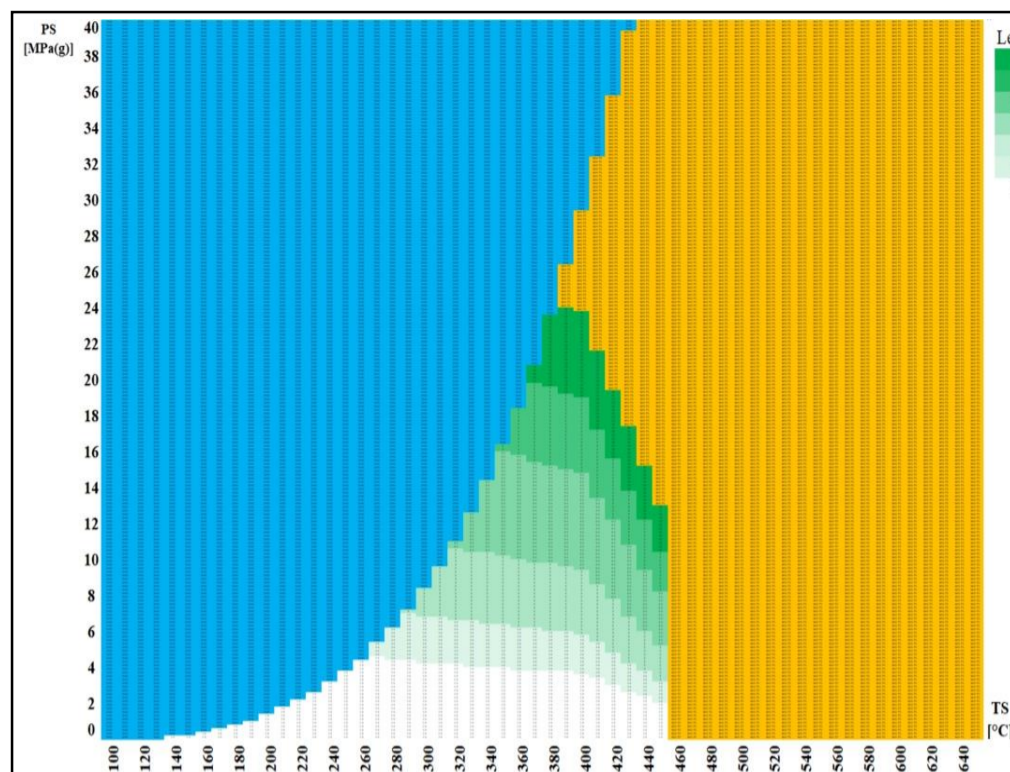
**A335 – P91**

*DN 32 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

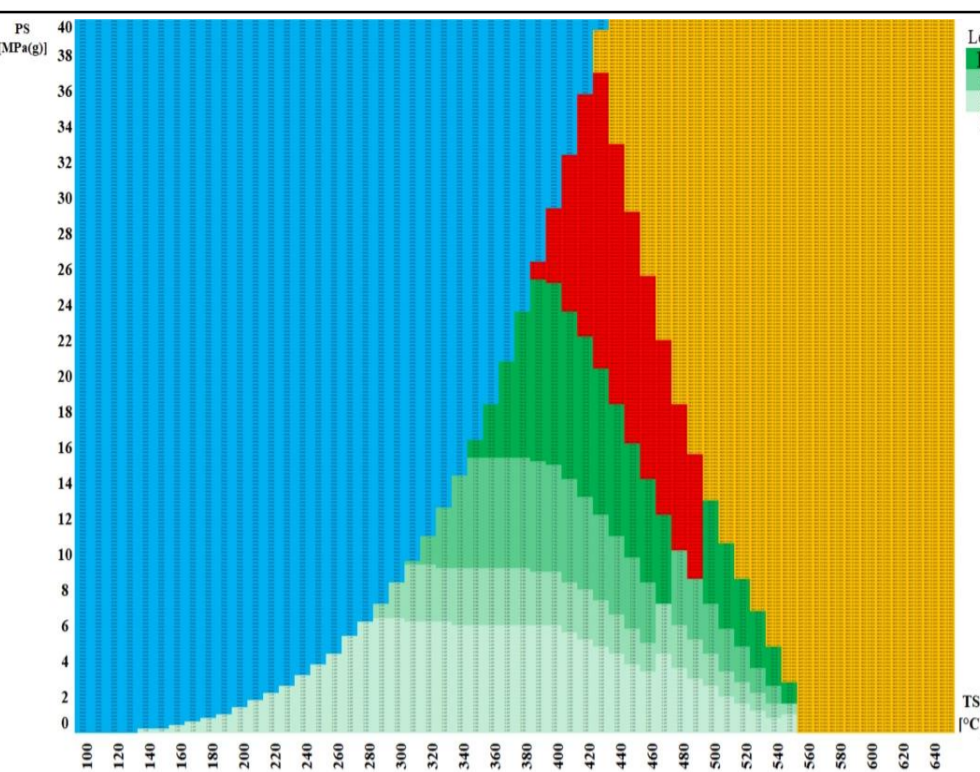
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

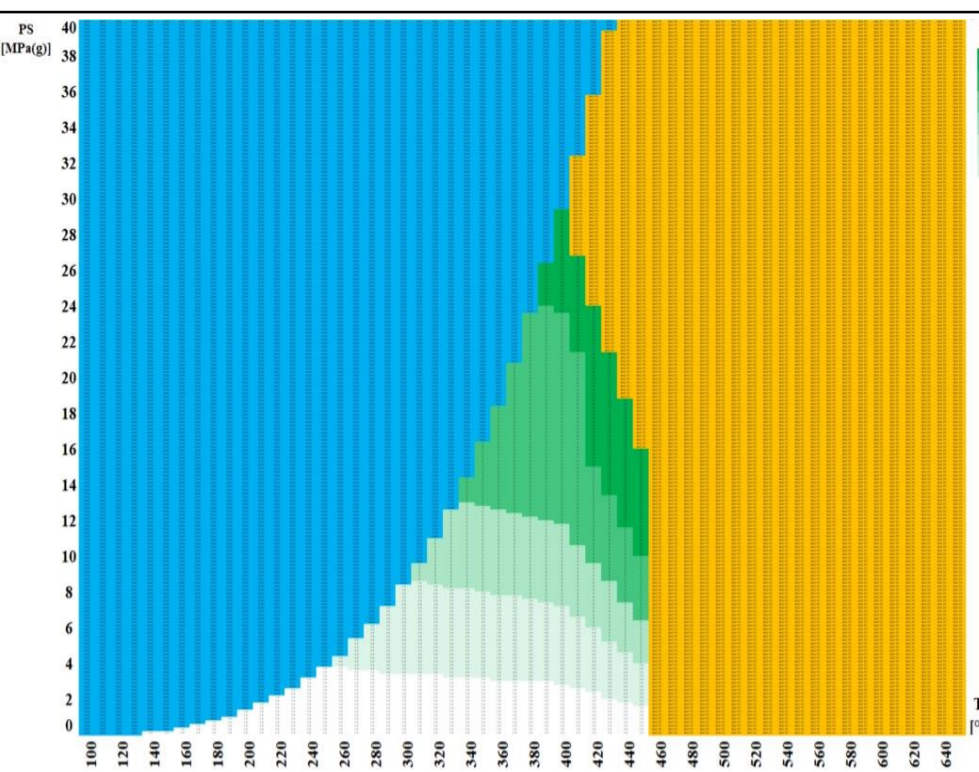
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



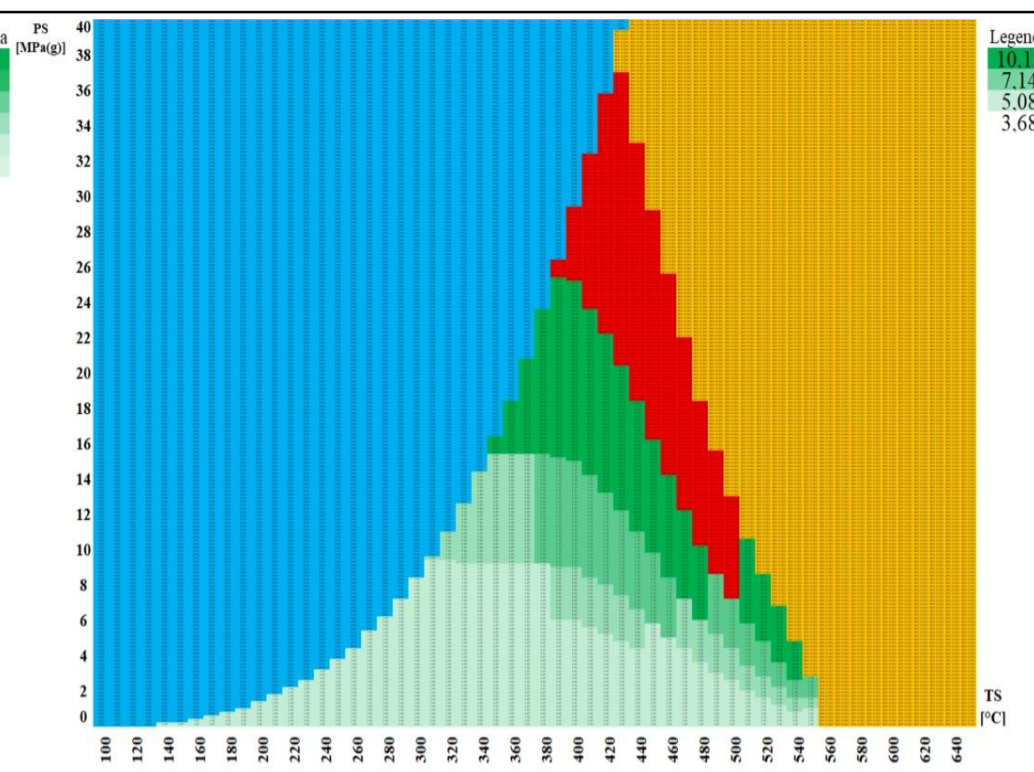
**P235GH**



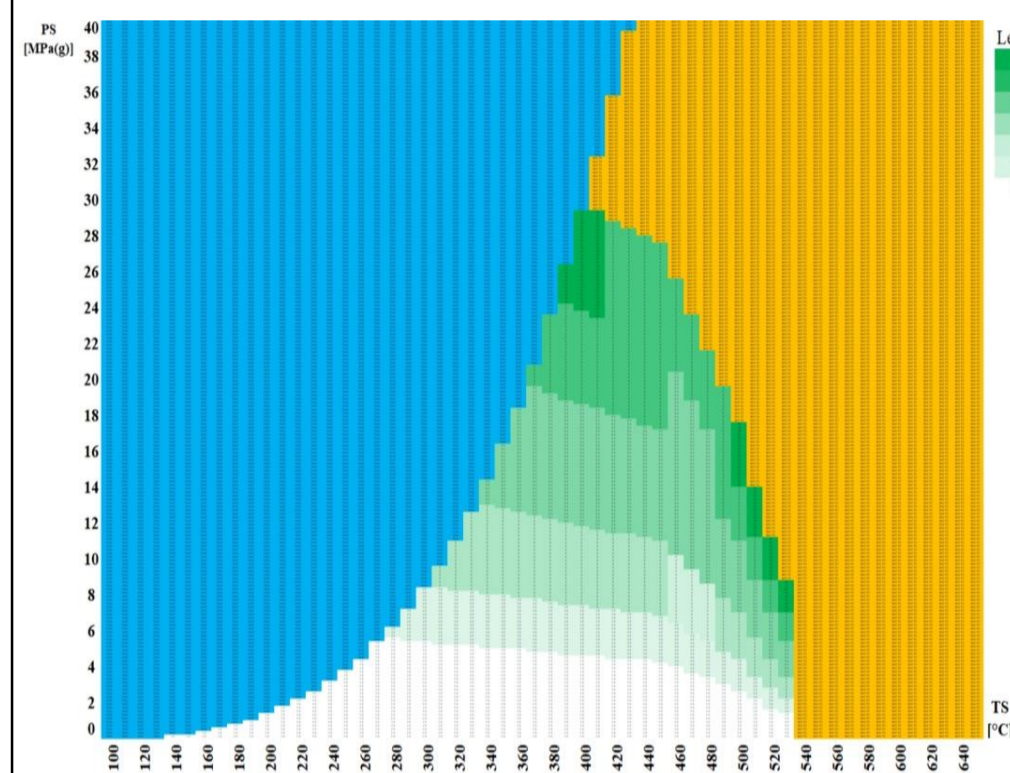
**A106-A**



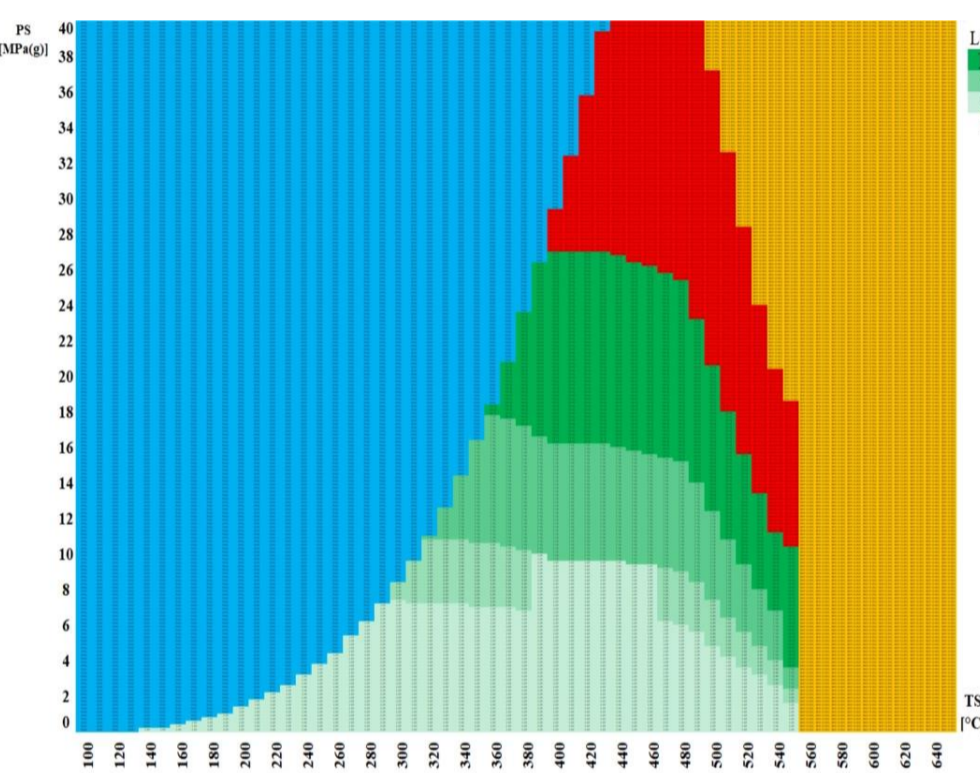
**P265GH**



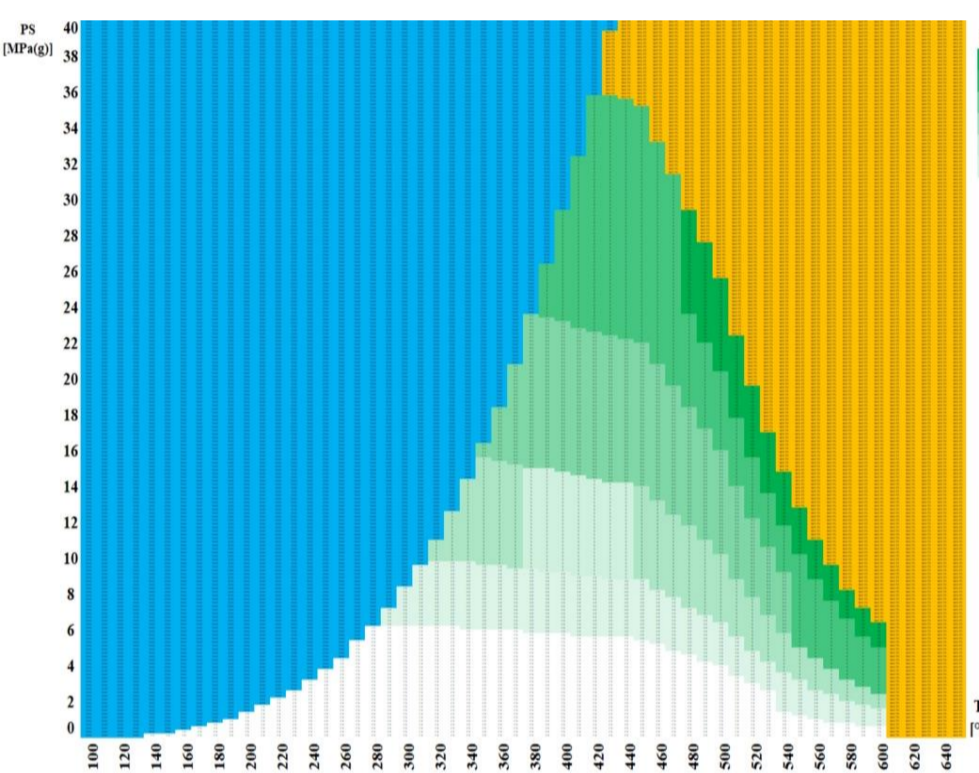
**A106-B**



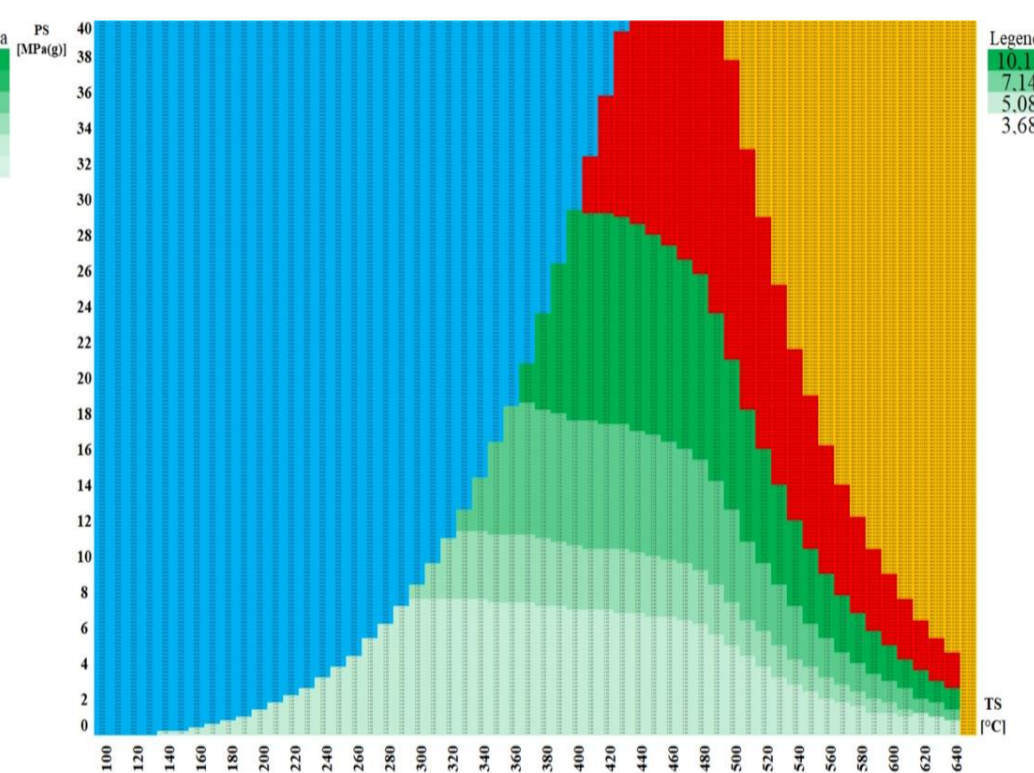
**16Mo3**



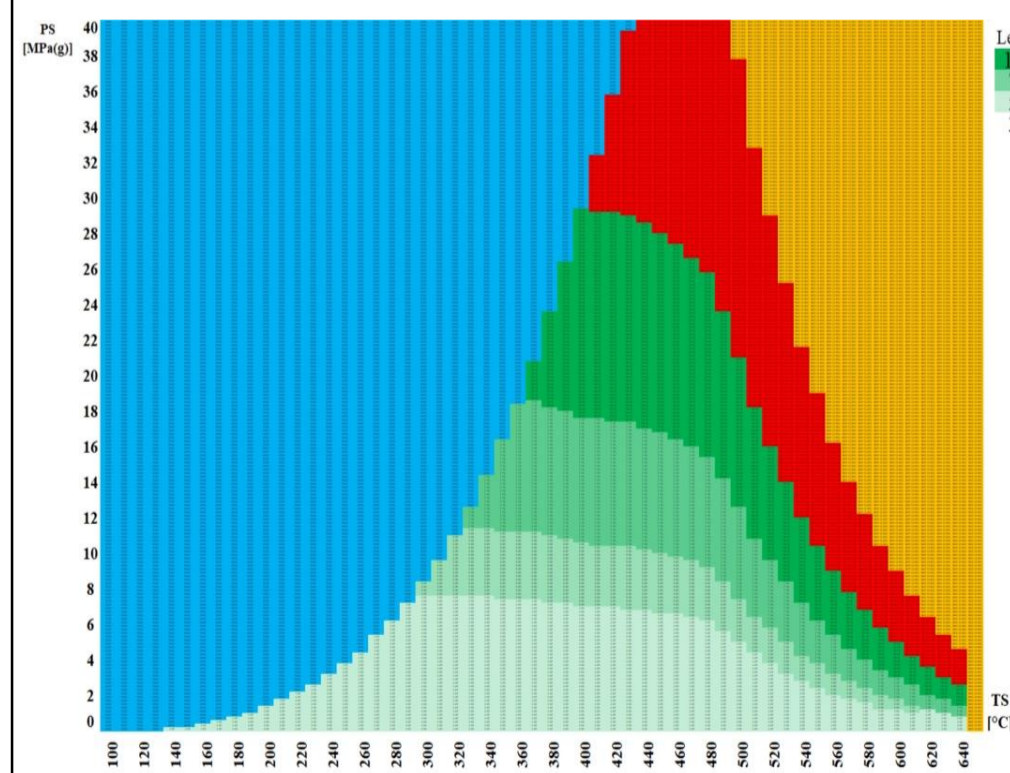
**A335-P1**



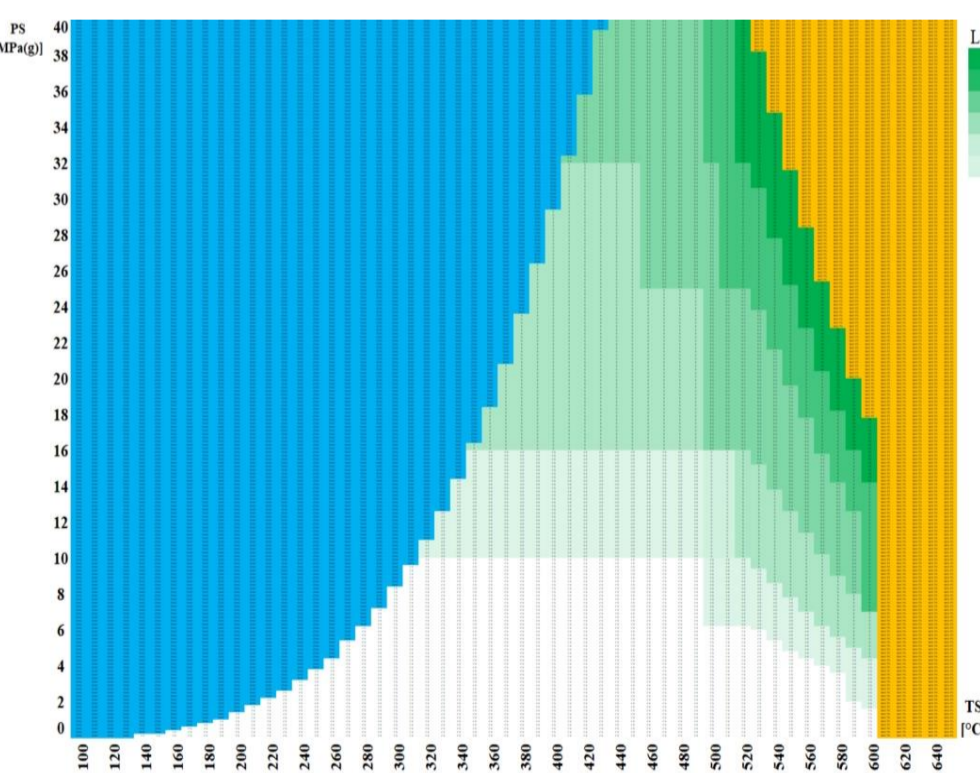
**10CrMo9-10**



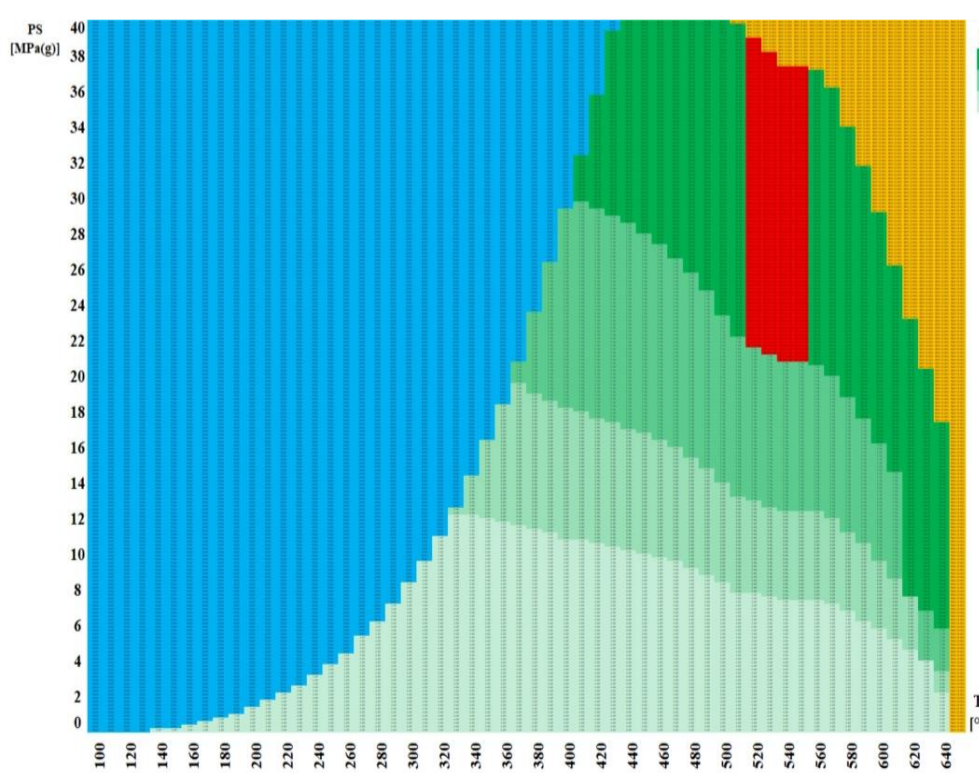
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



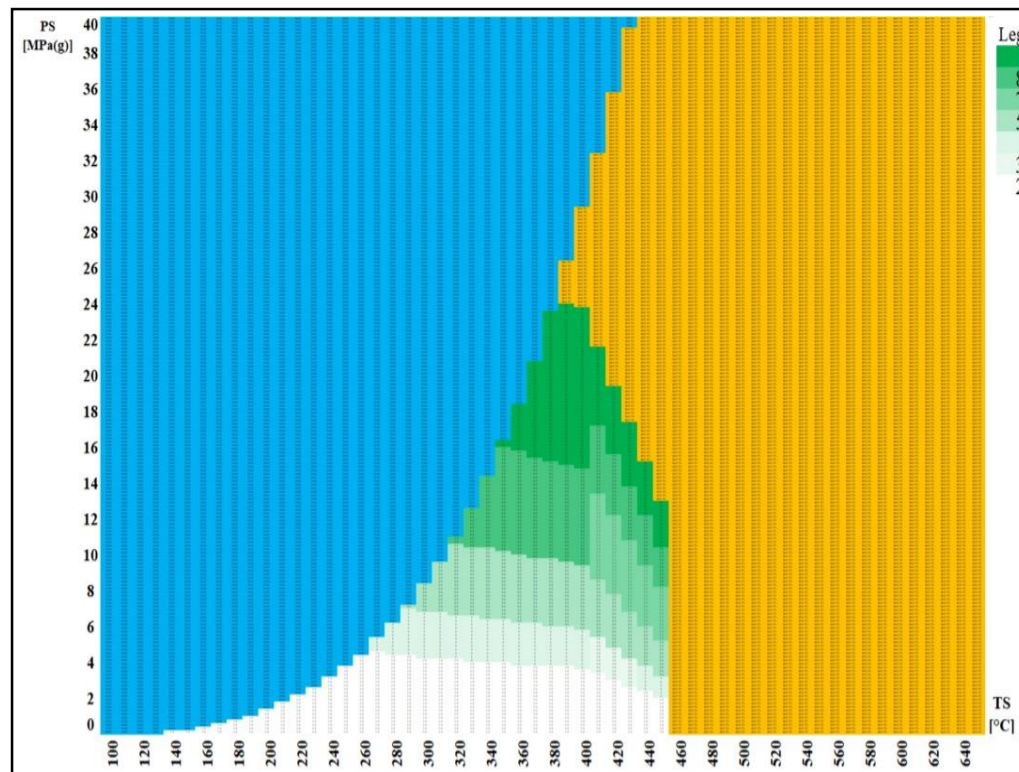
**A335 – P91**

*DN 40 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

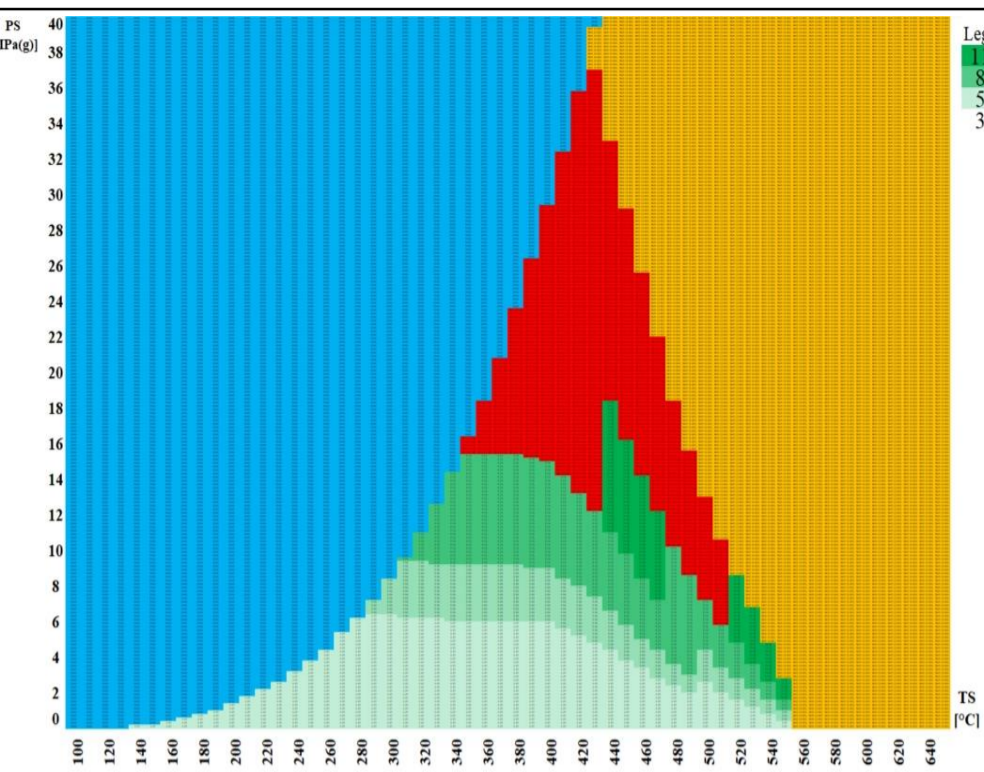
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

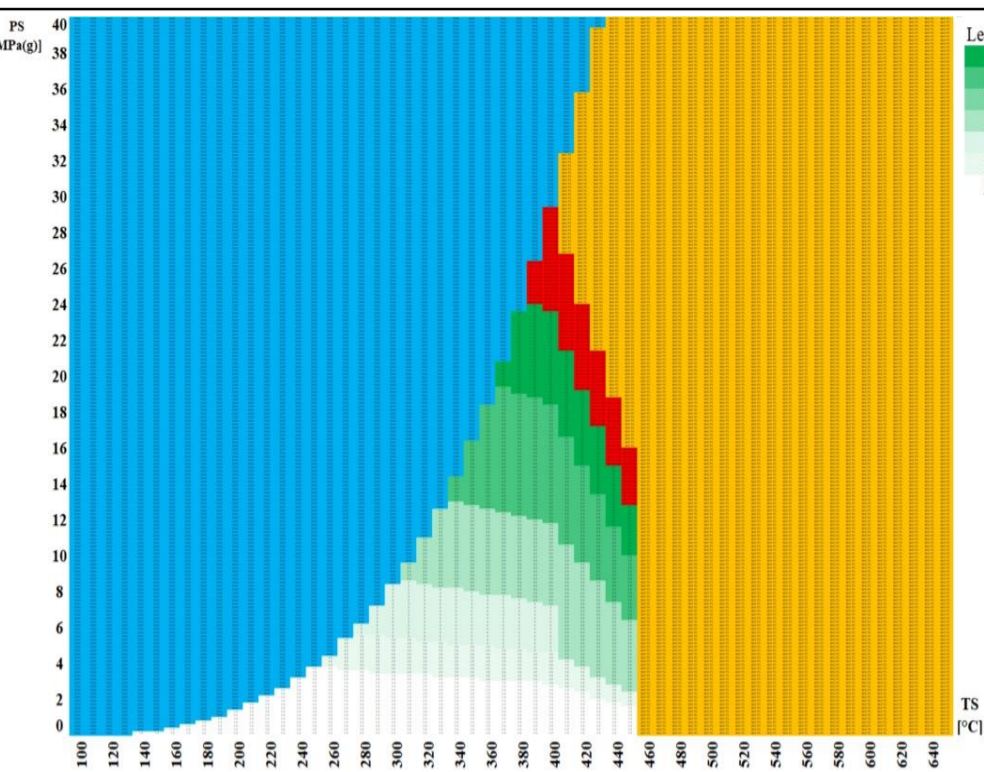
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



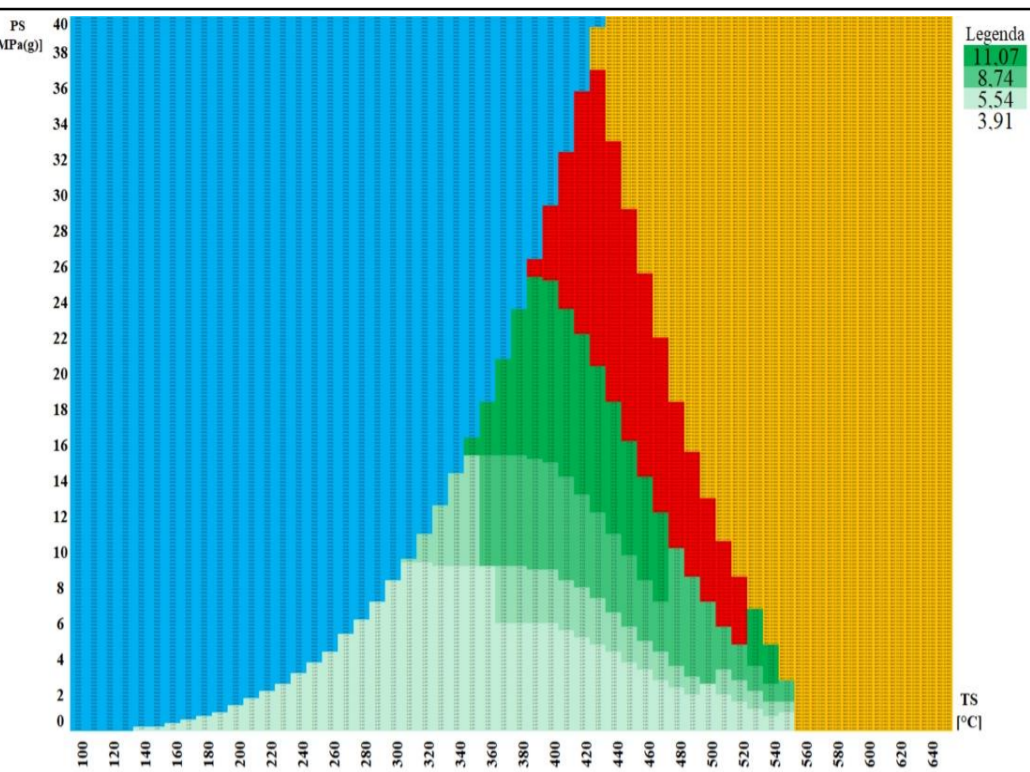
**P235GH**



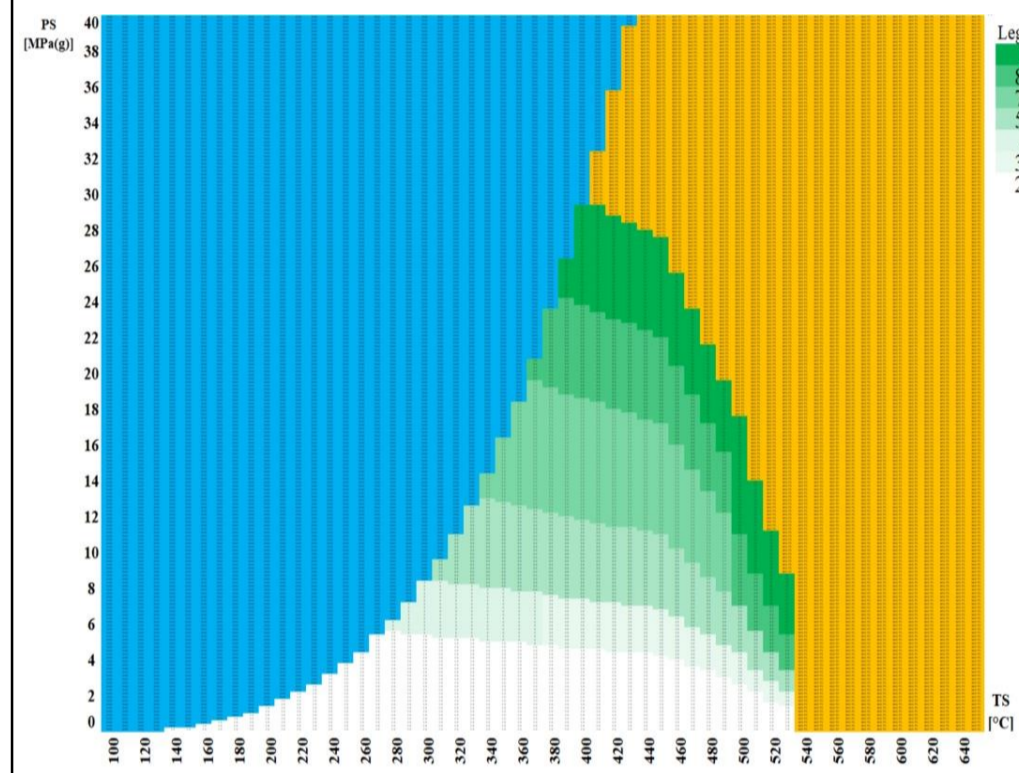
**A106-A**



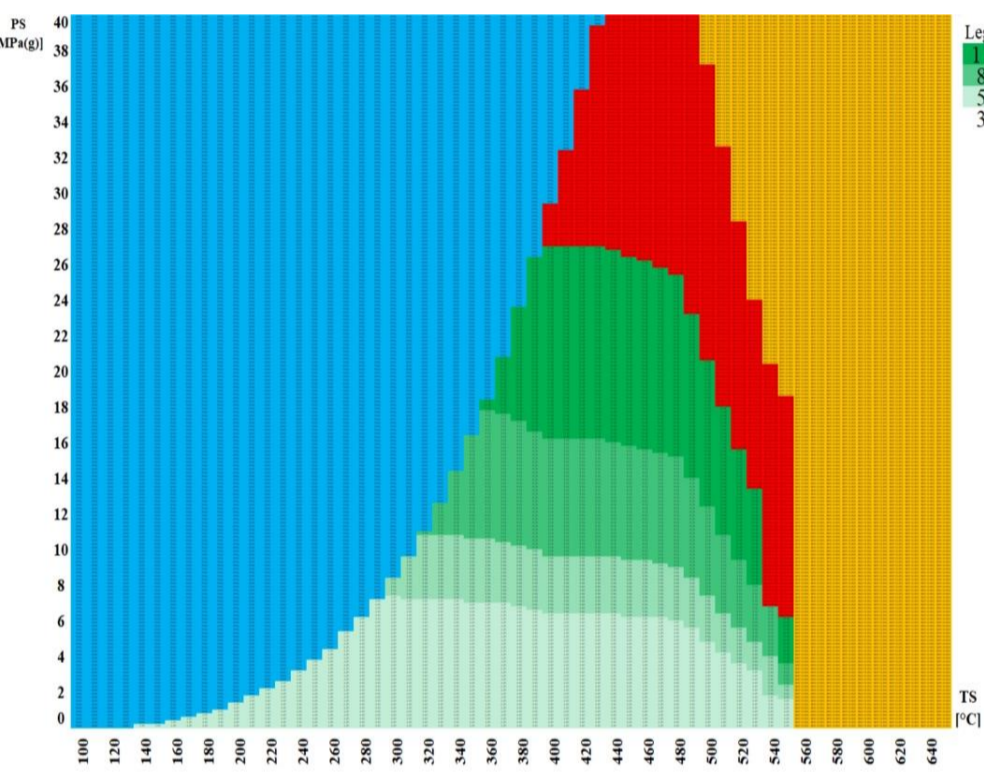
**P265GH**



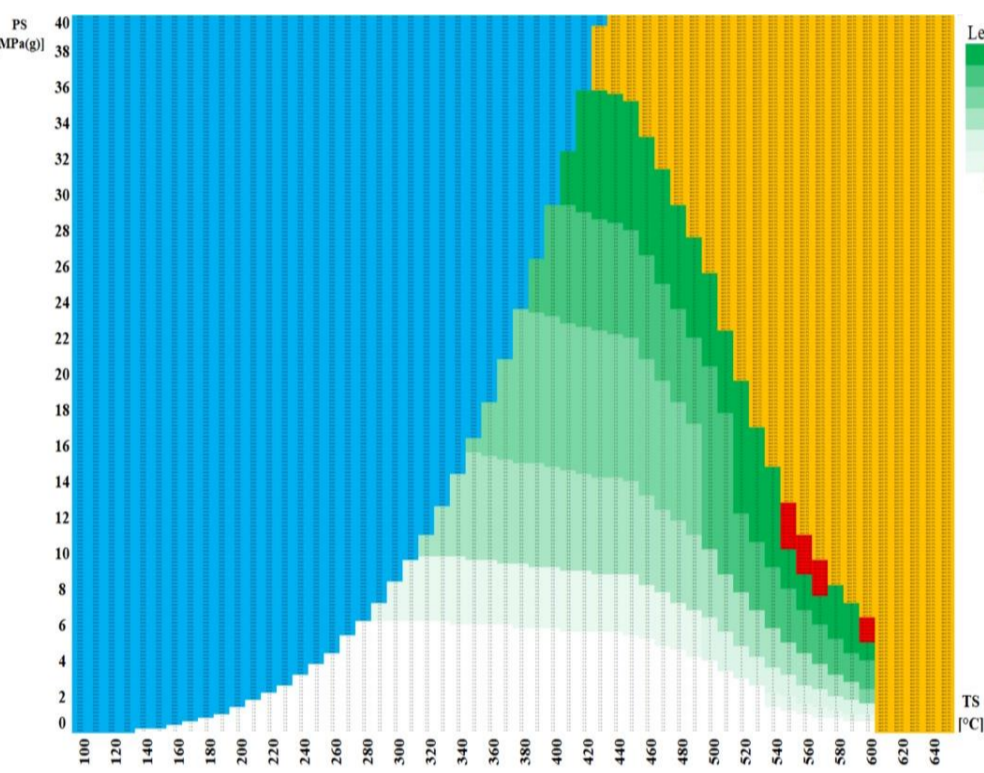
**A106-B**



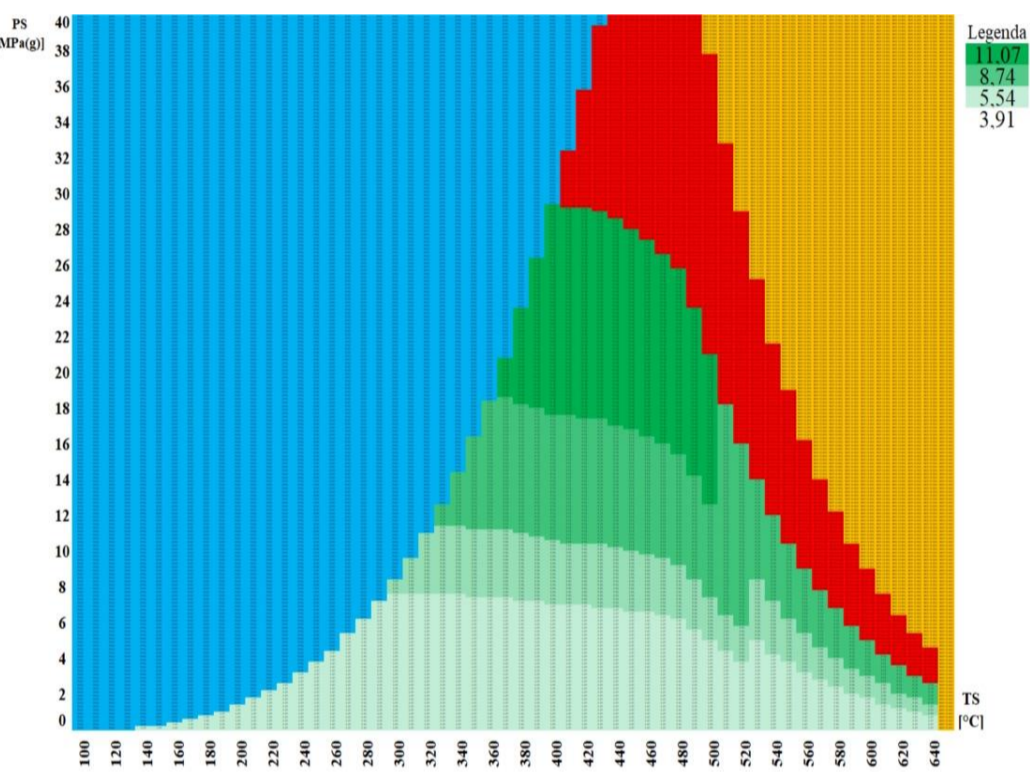
**16Mo3**



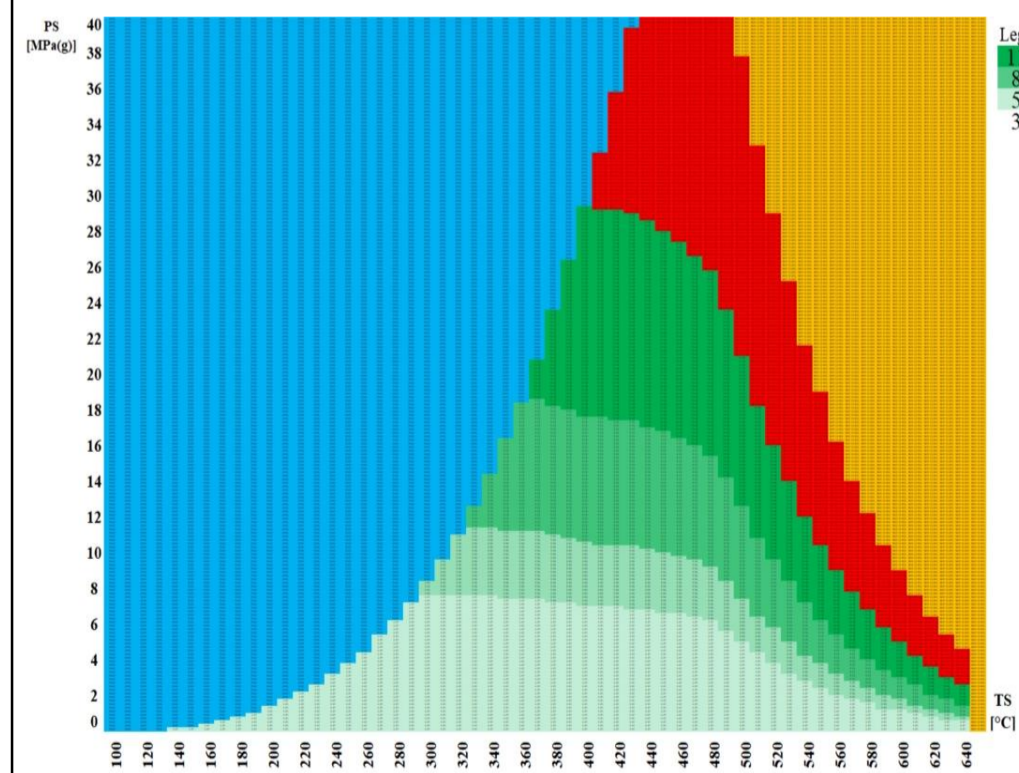
**A335-P1**



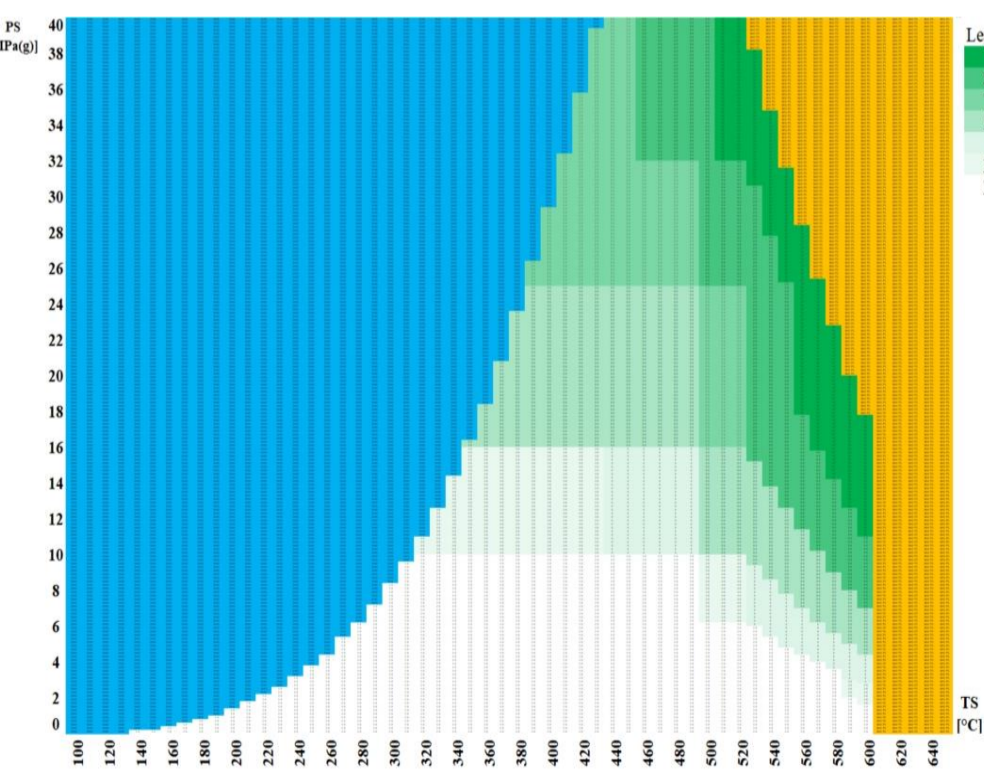
**10CrMo9-10**



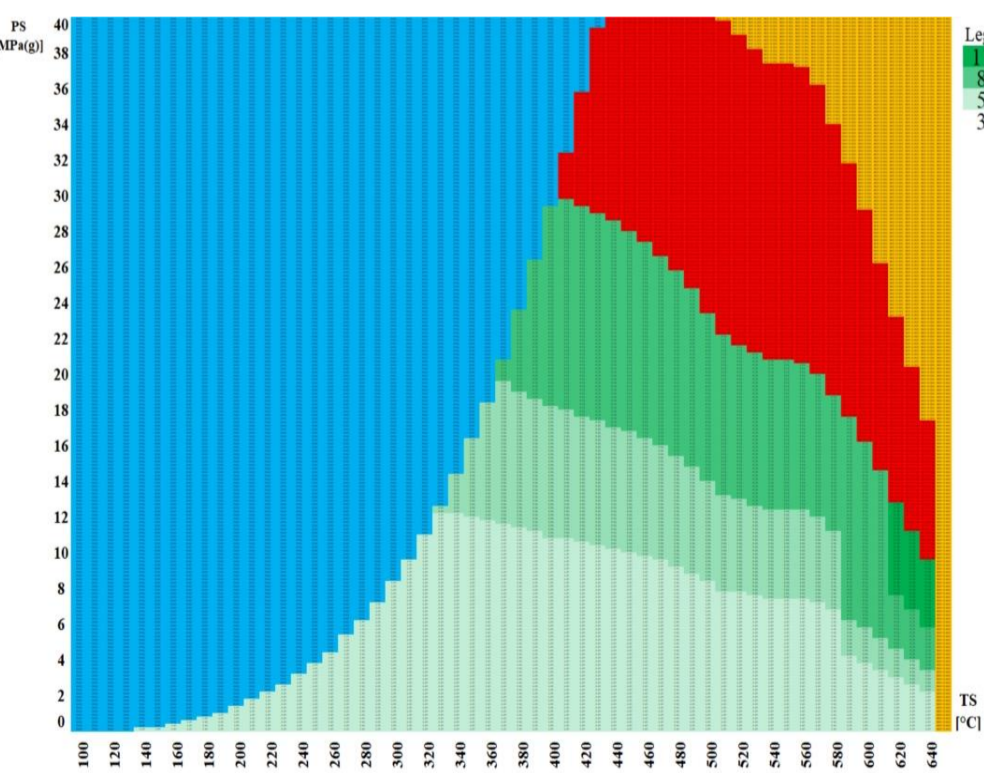
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



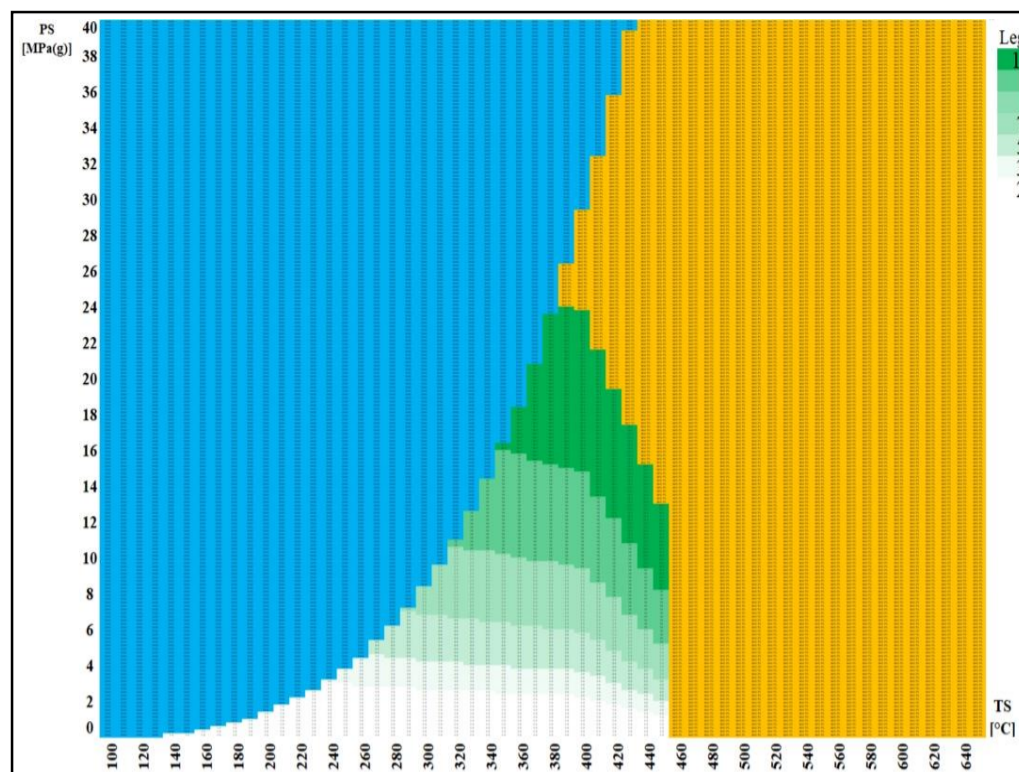
**A335 – P91**

*DN 50 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

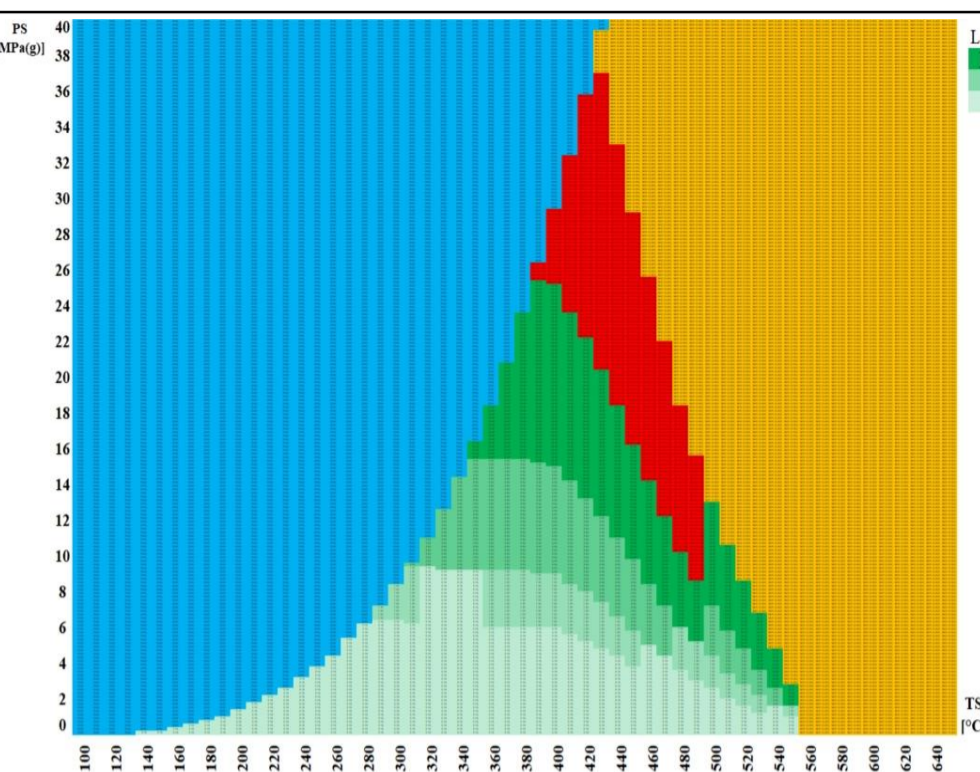
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

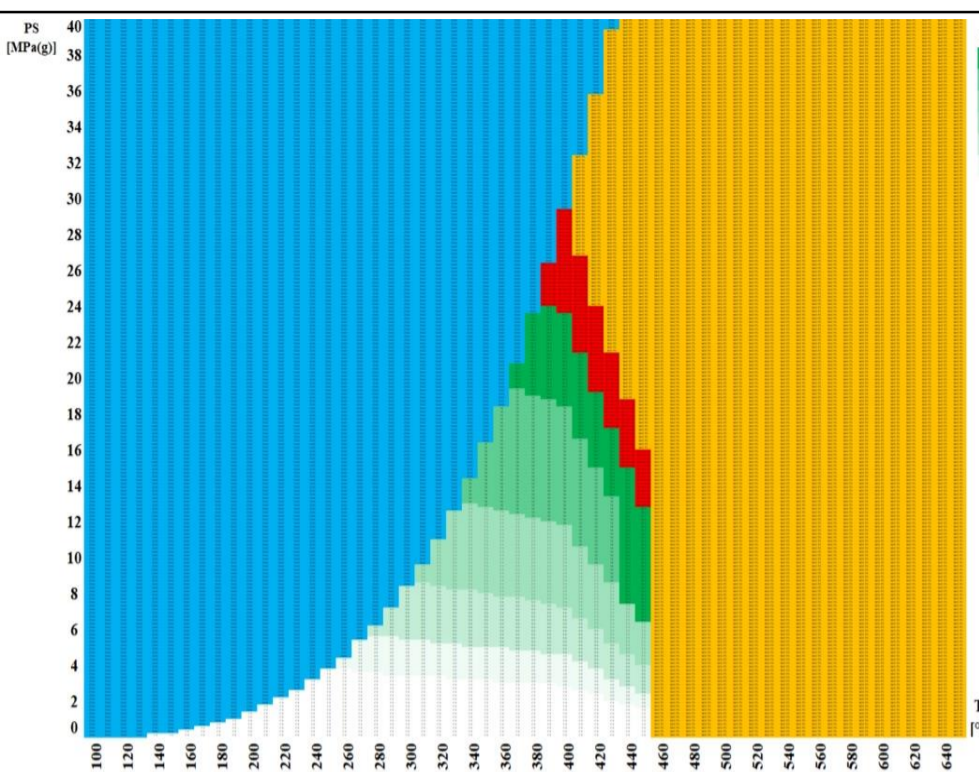
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



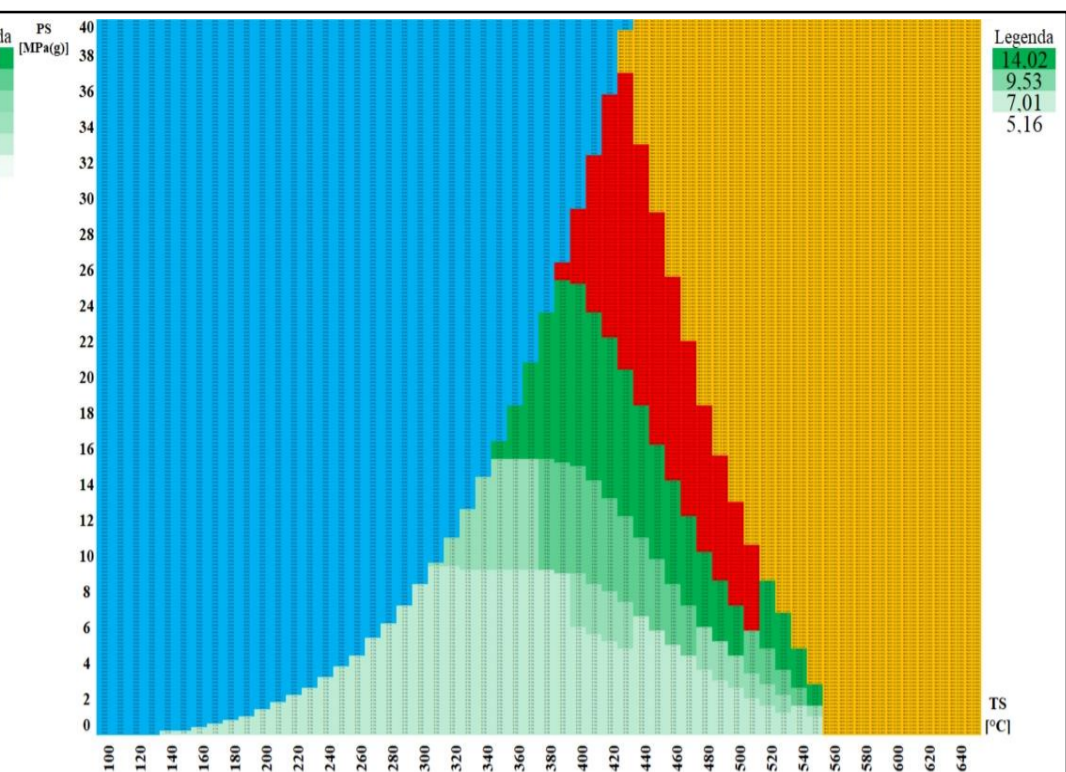
**P235GH**



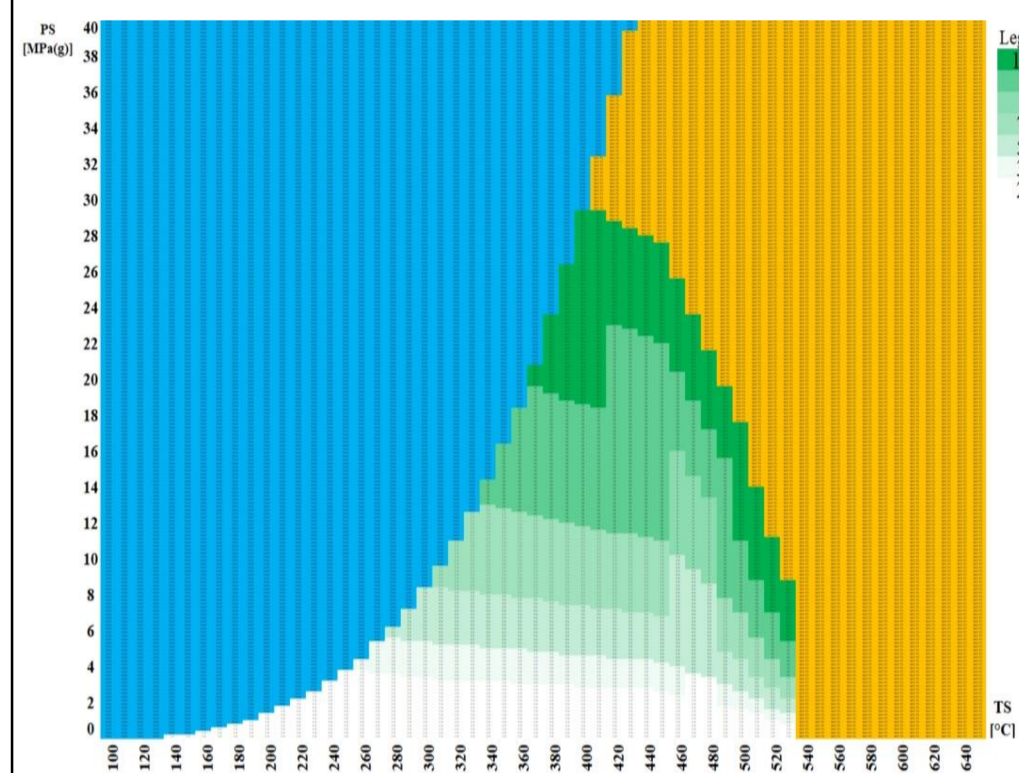
**A106-A**



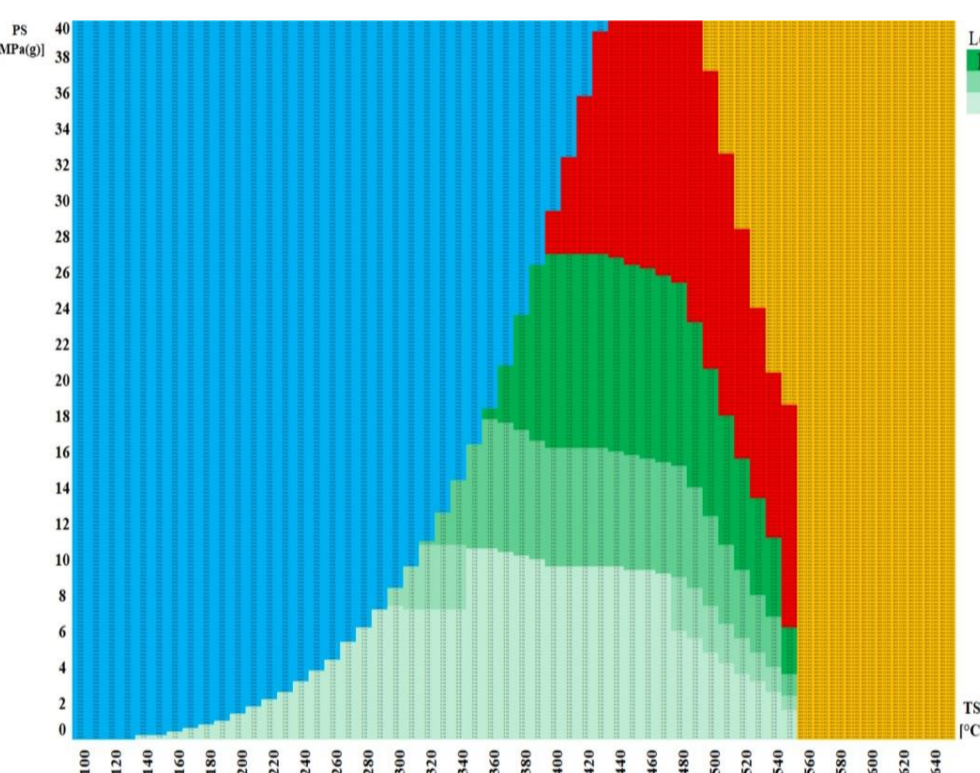
**P265GH**



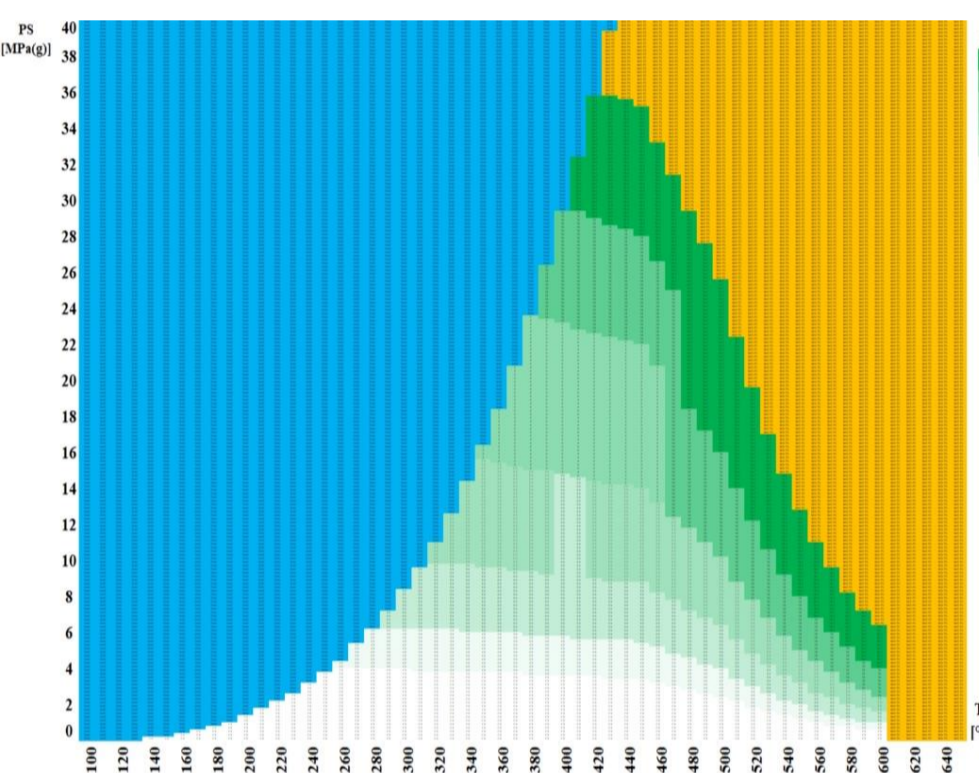
**A106-B**



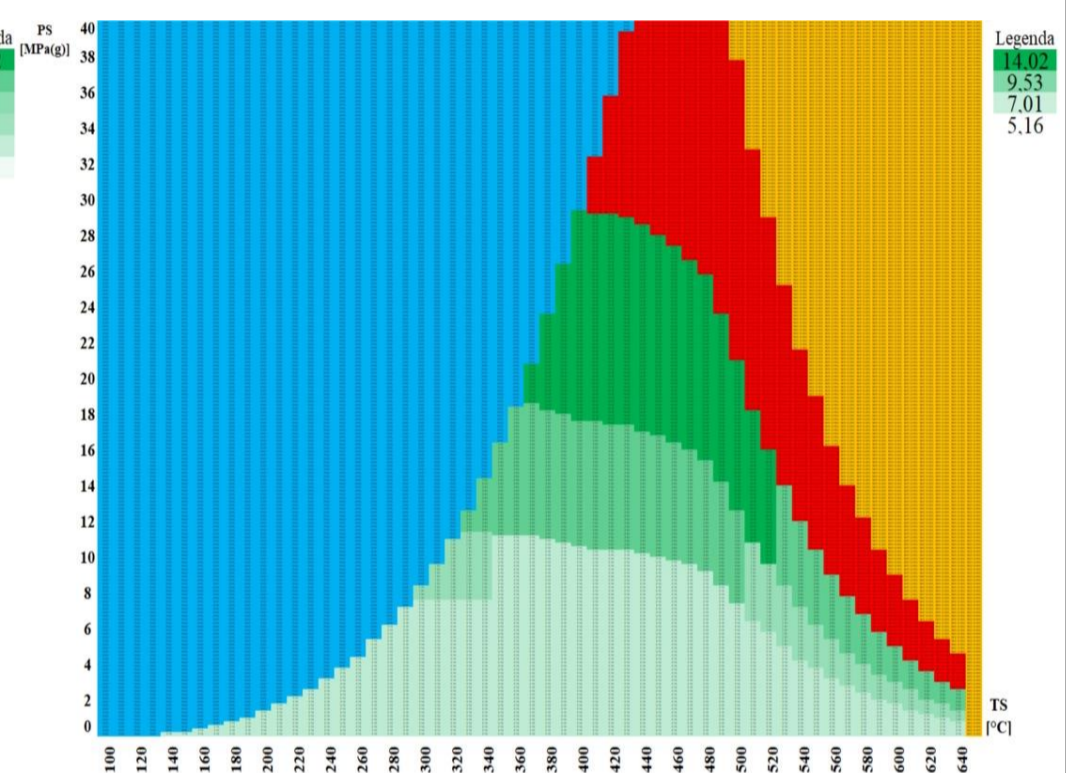
**16Mo3**



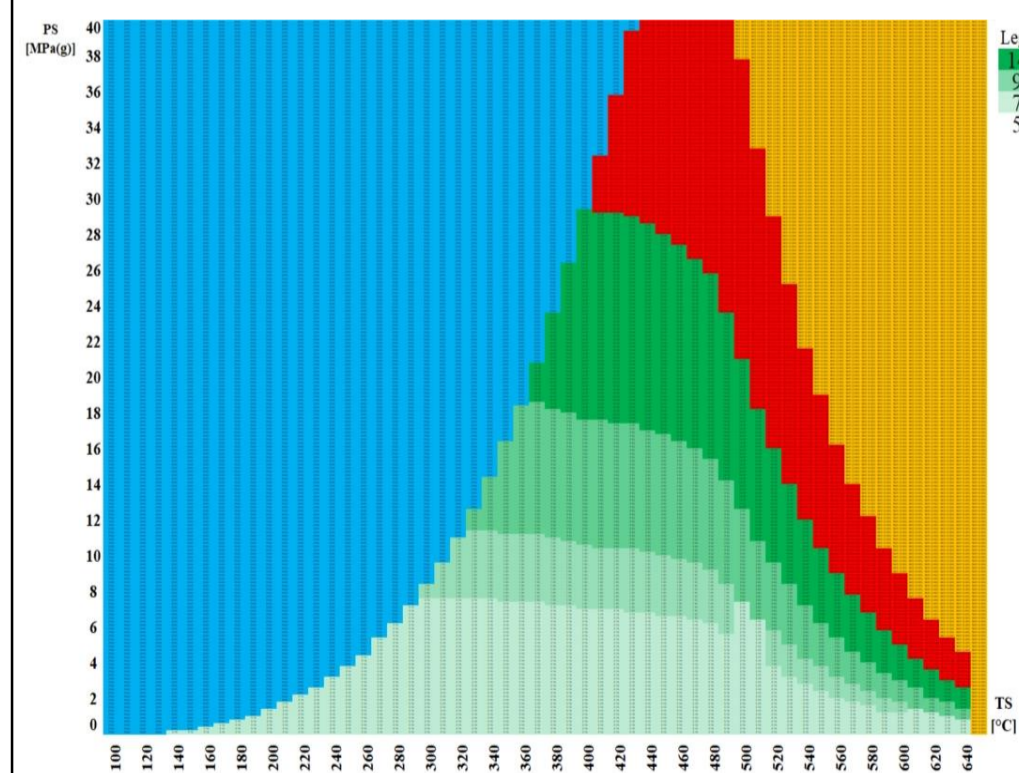
**A335-P1**



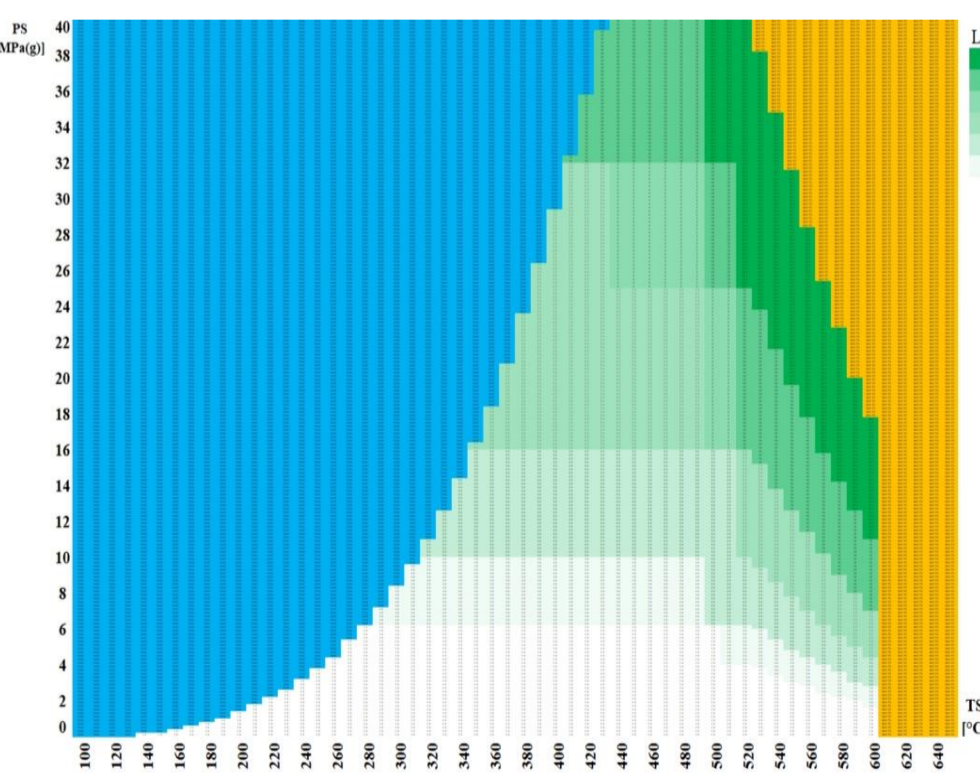
**10CrMo9-10**



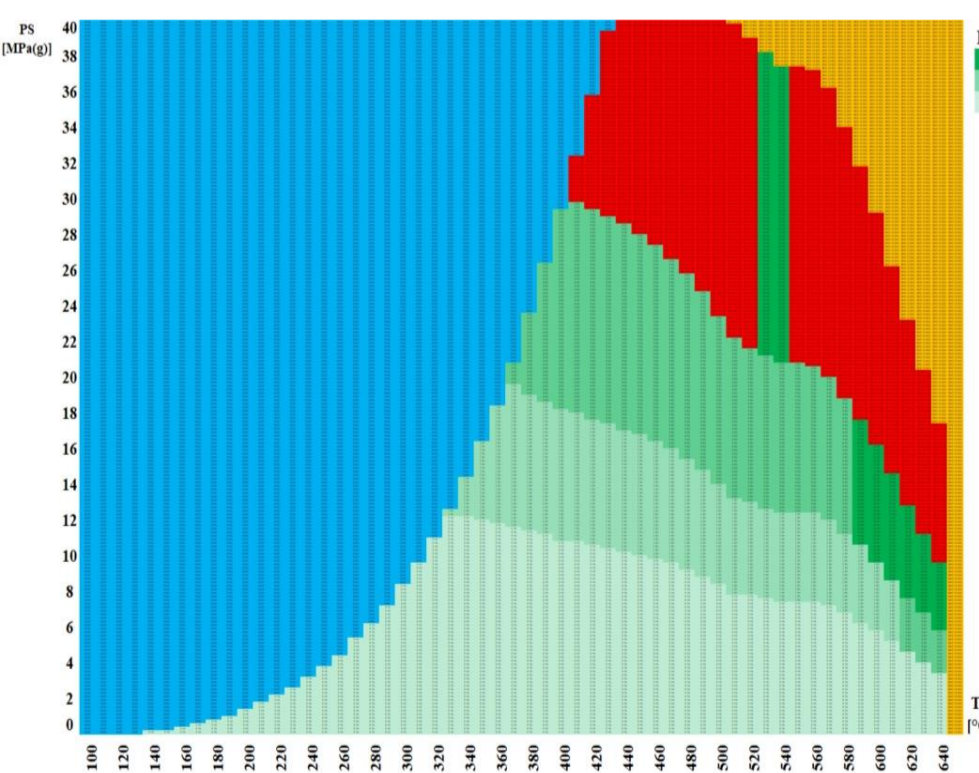
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



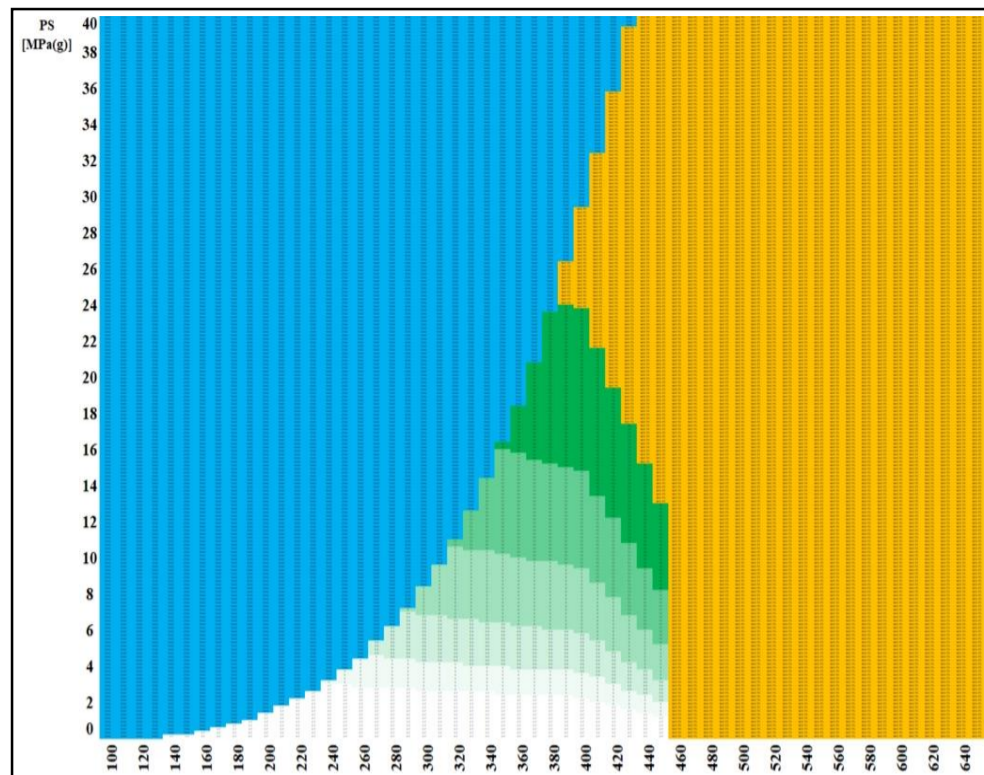
**A335 – P91**

*DN 65 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

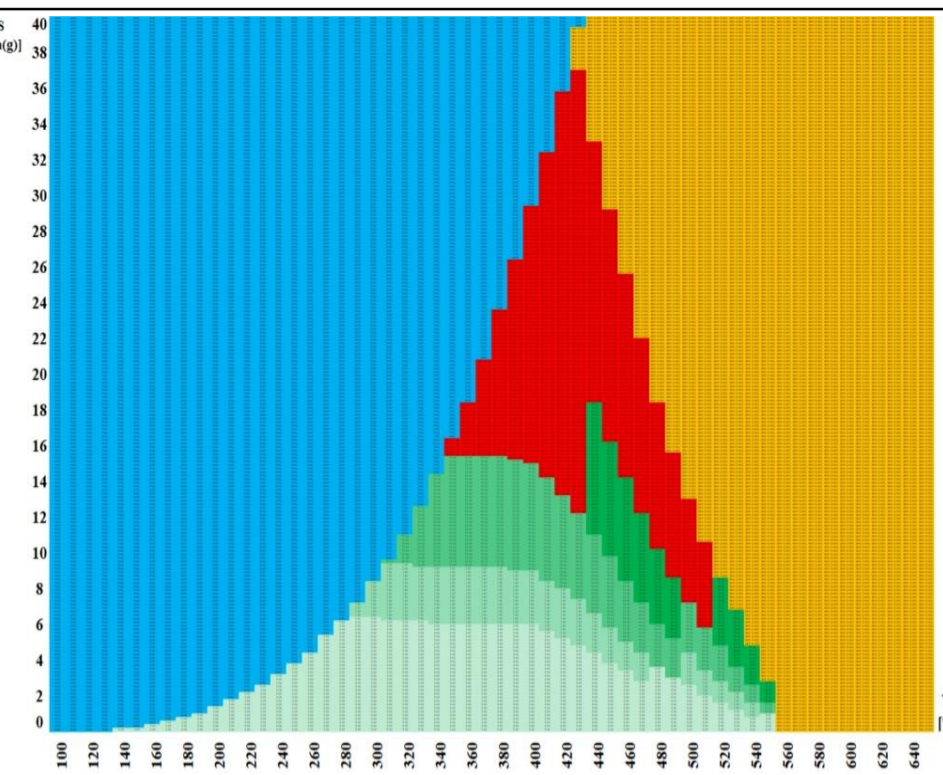
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

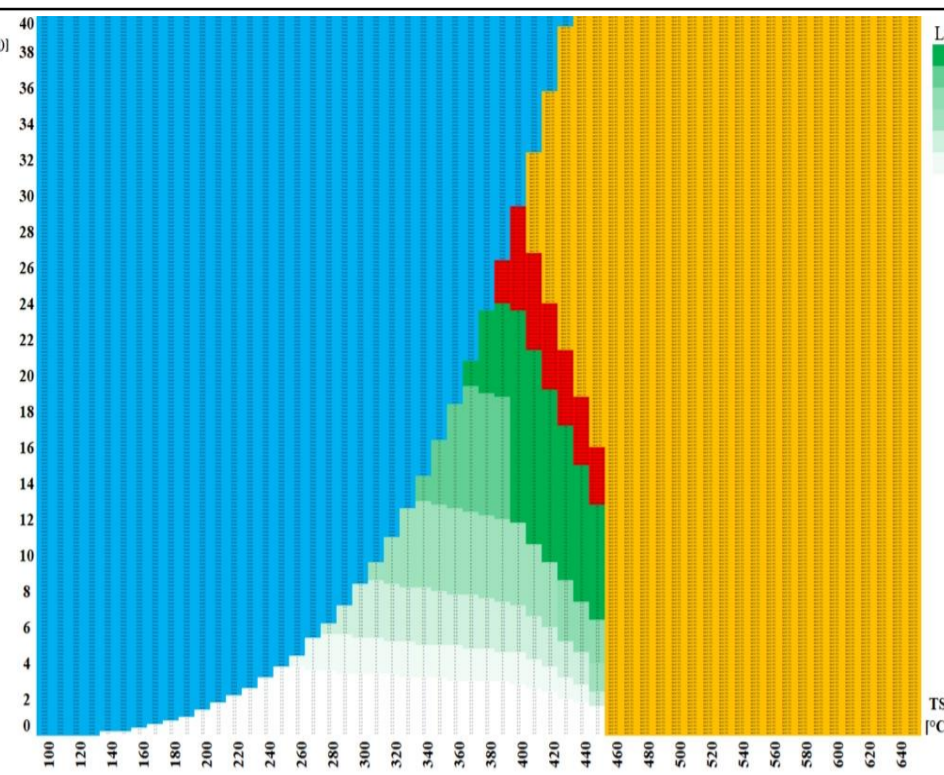
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



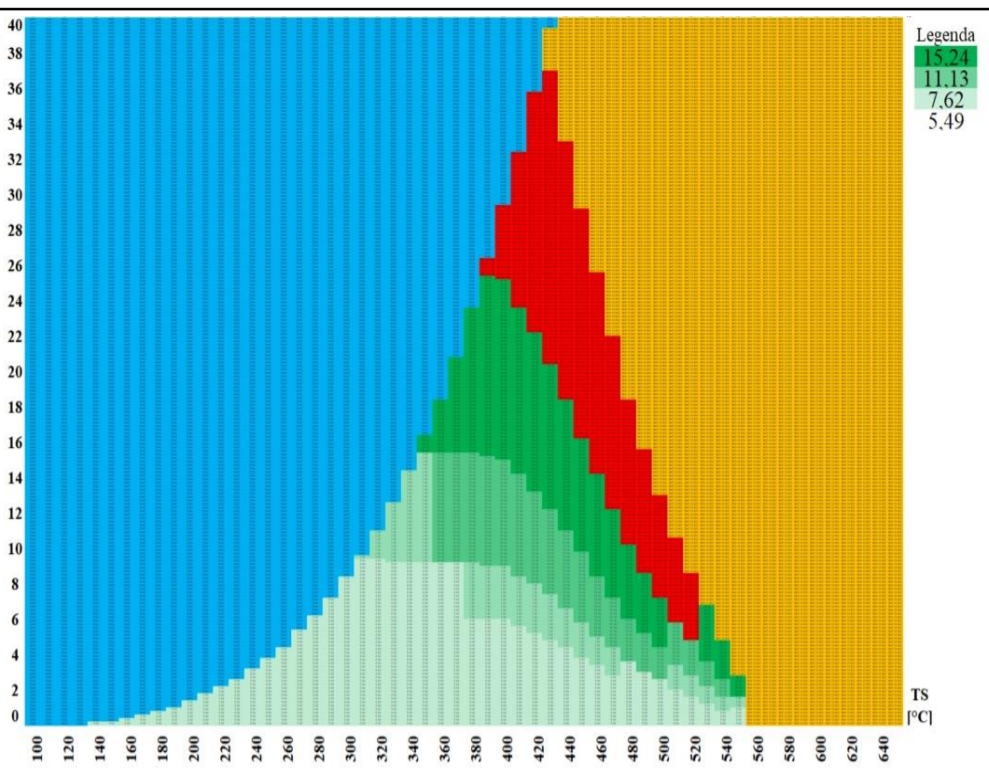
**P235GH**



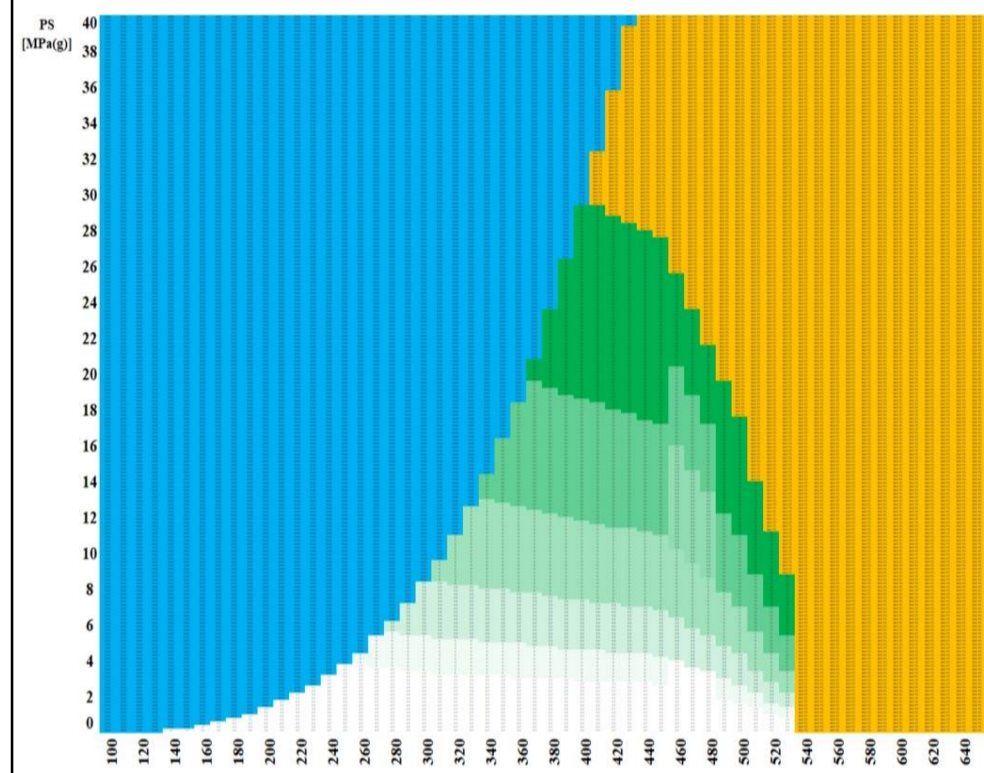
**A106-A**



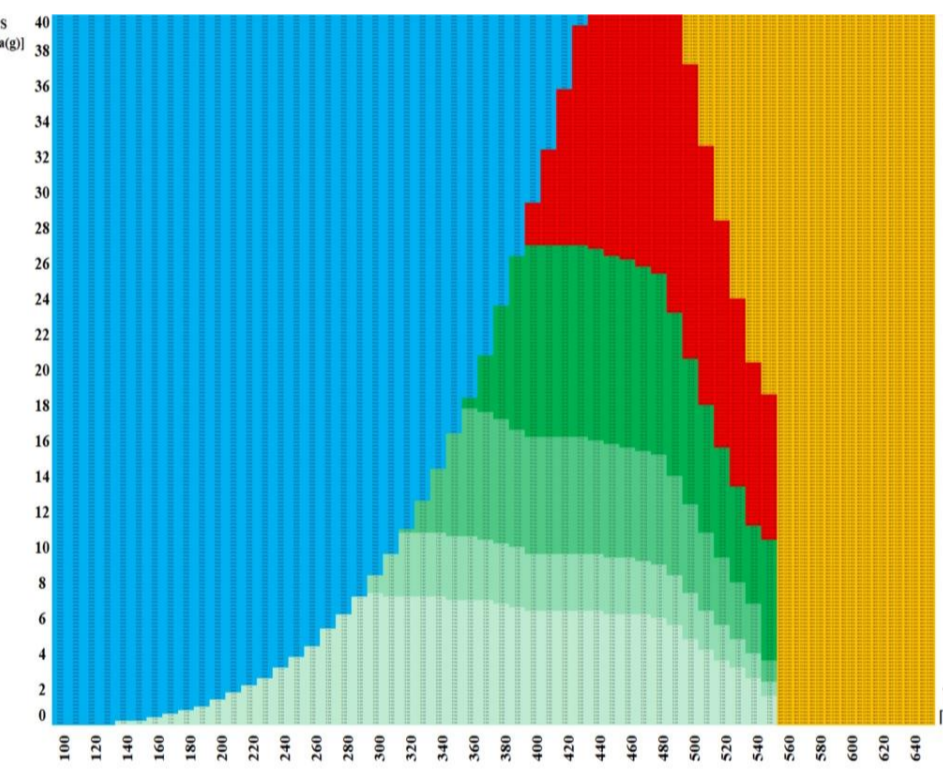
**P265GH**



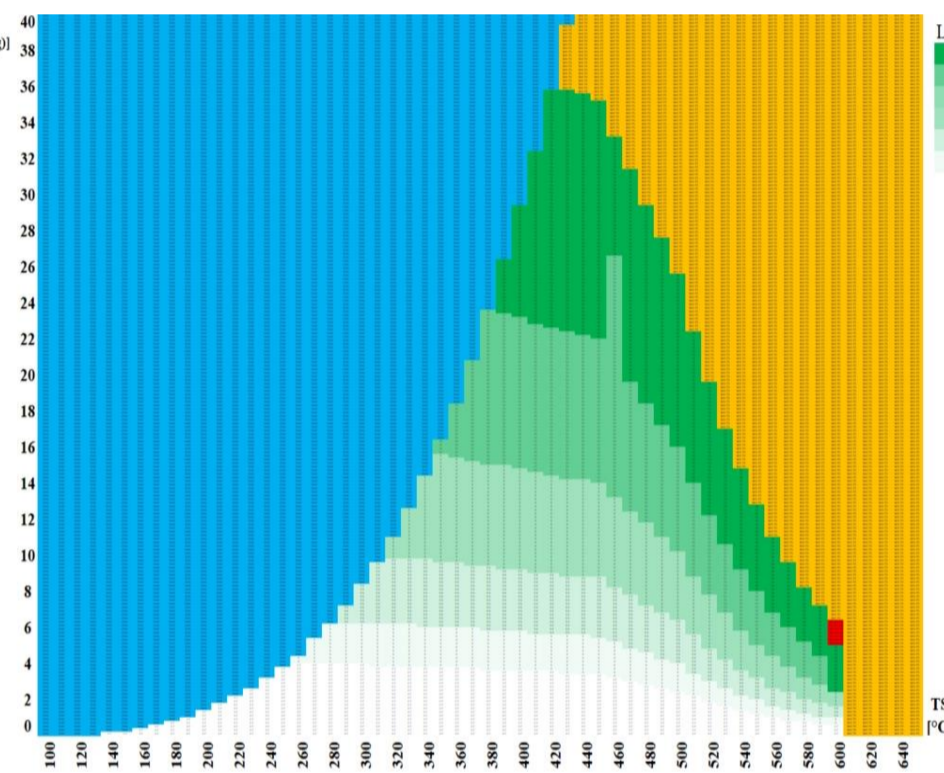
**A106-B**



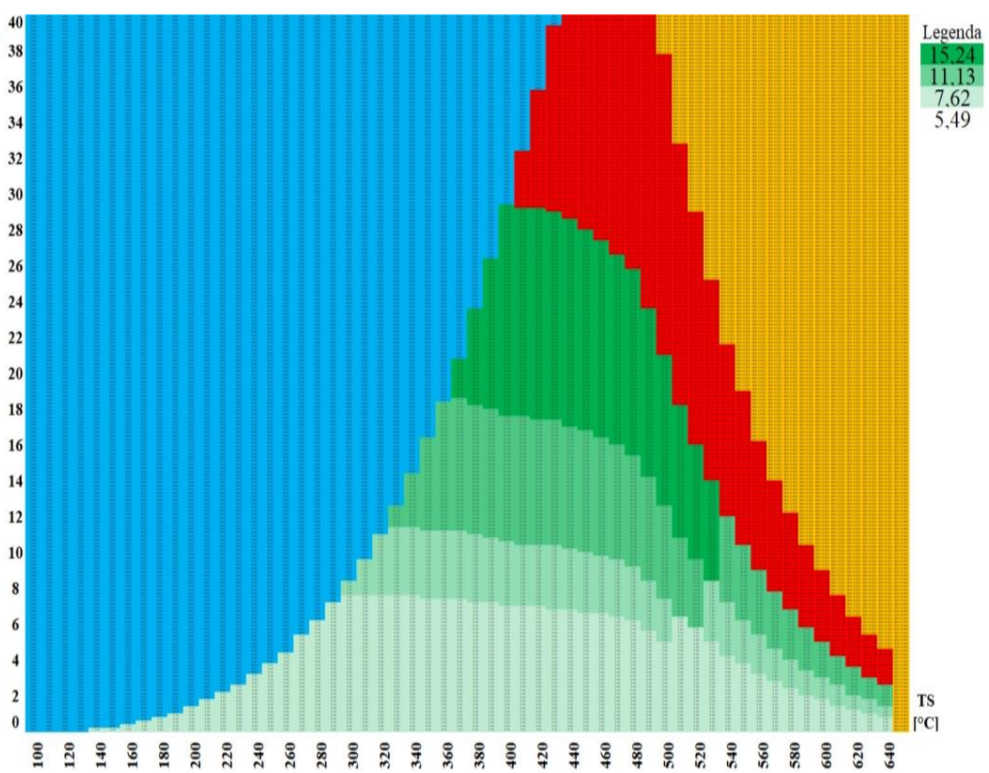
**16Mo3**



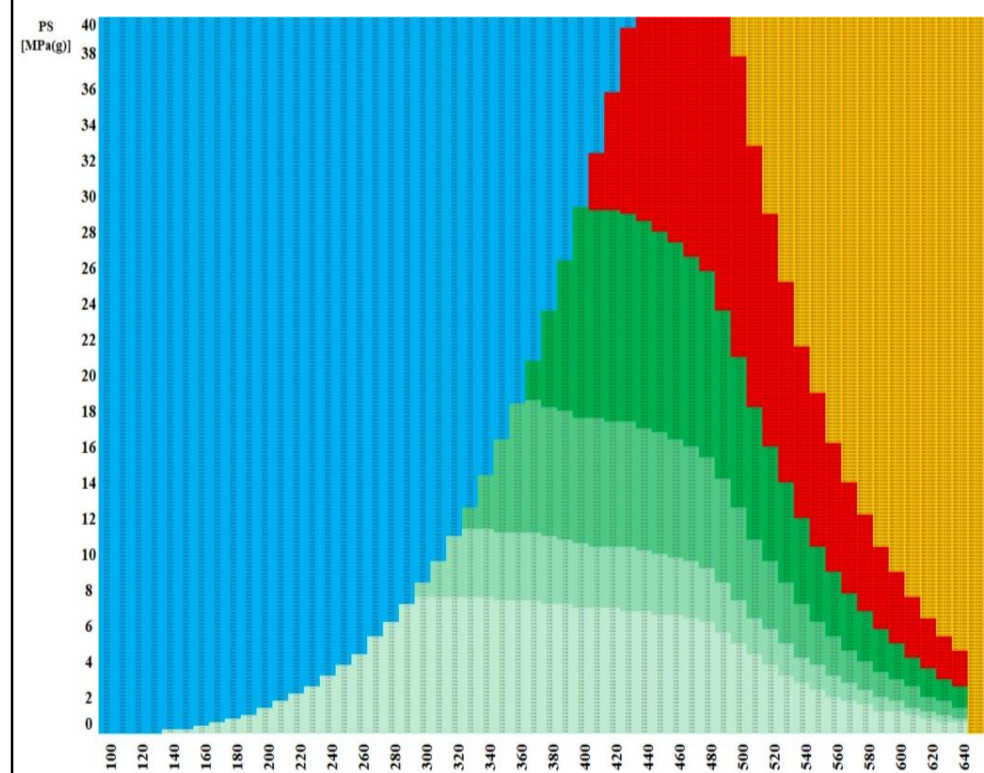
**A335-P1**



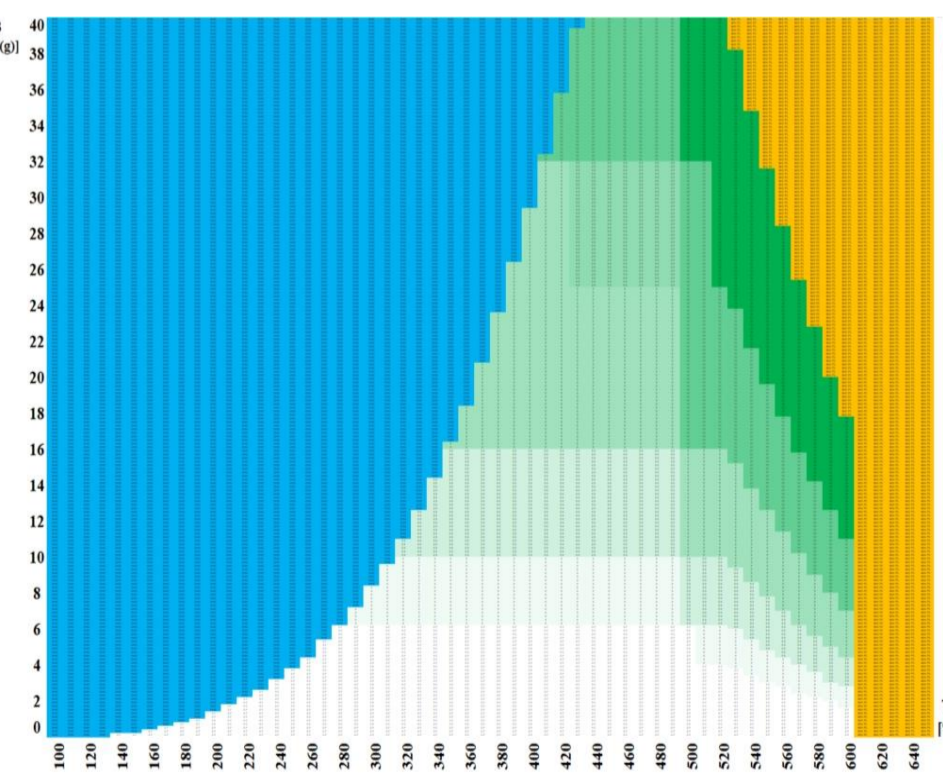
**10CrMo9-10**



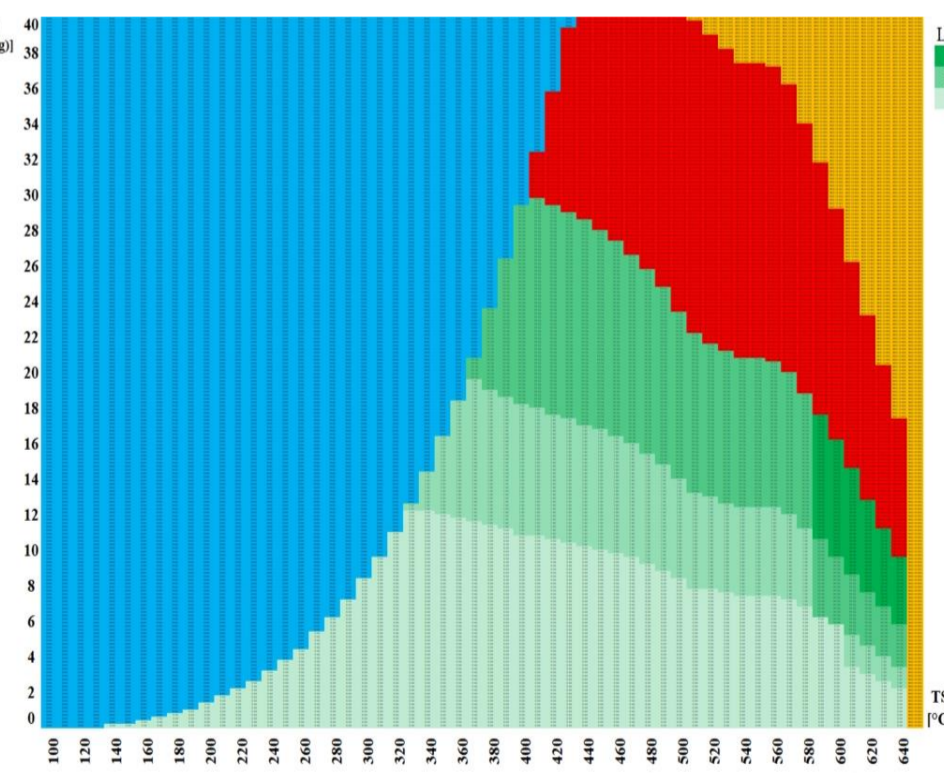
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

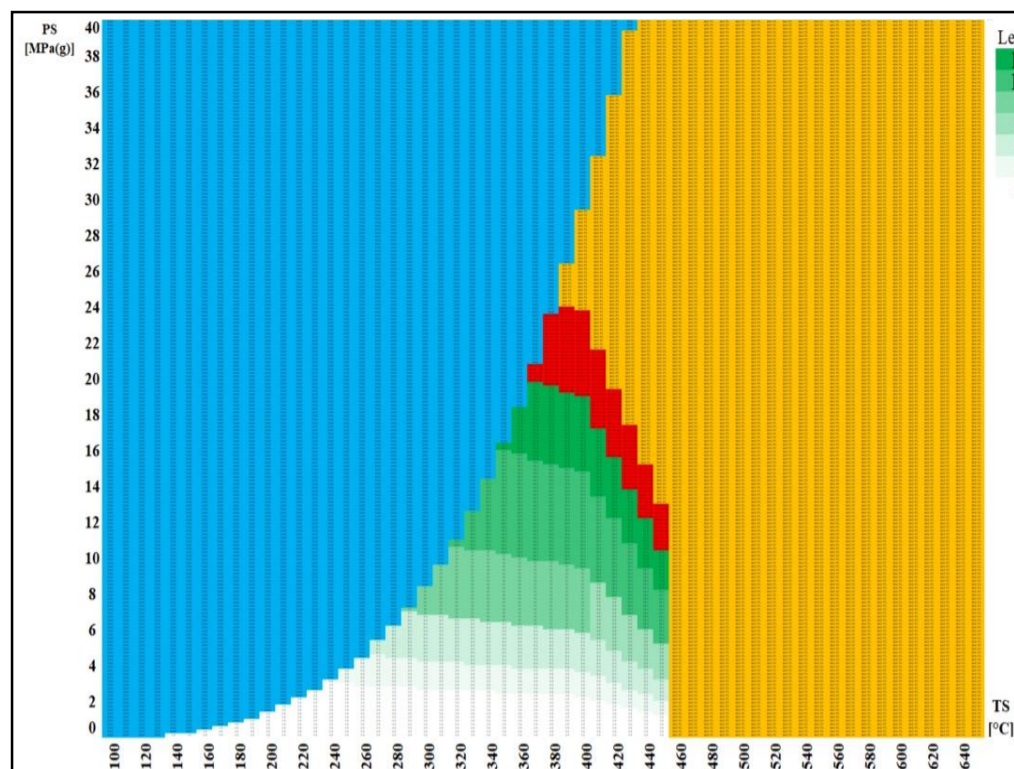
*DN 80 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

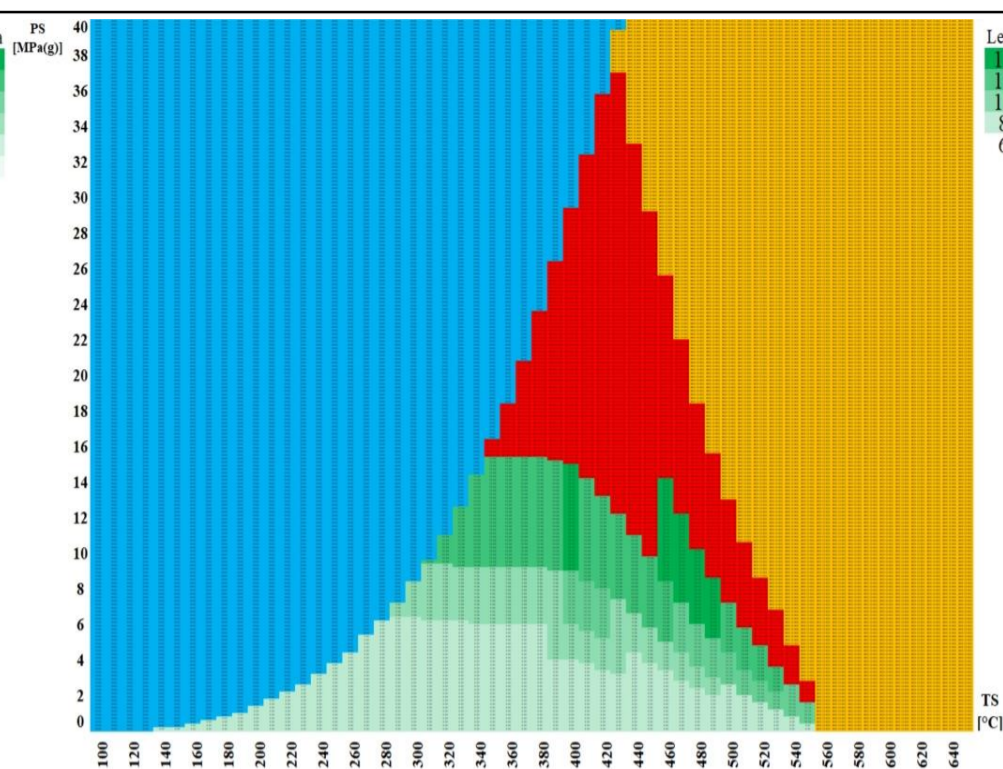
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

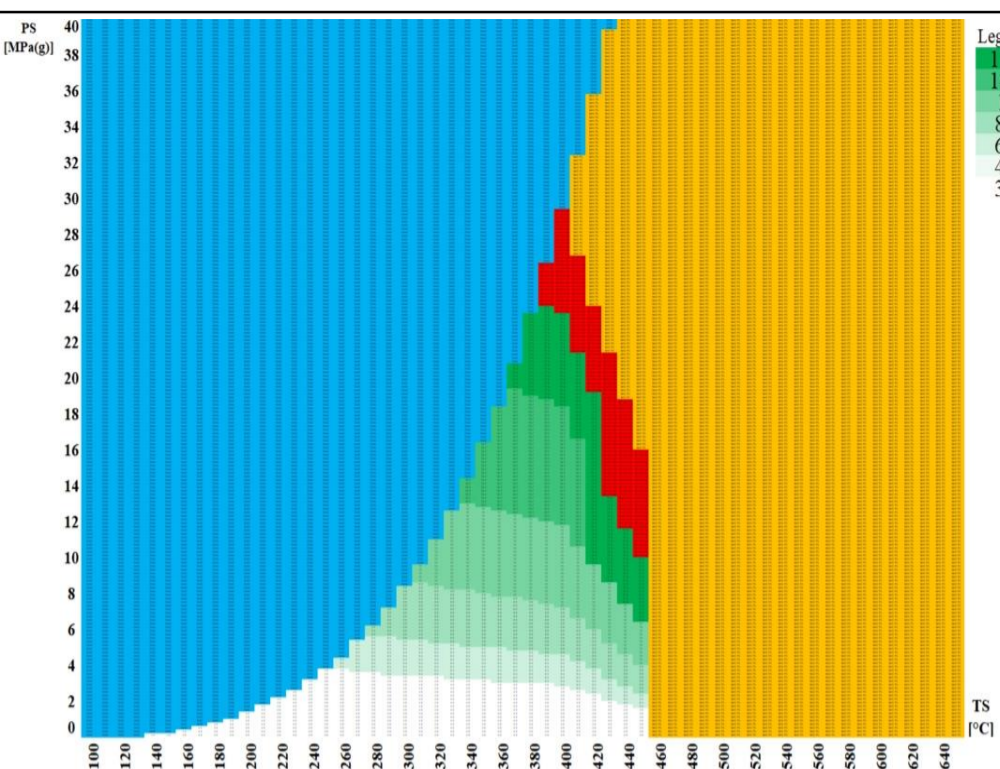




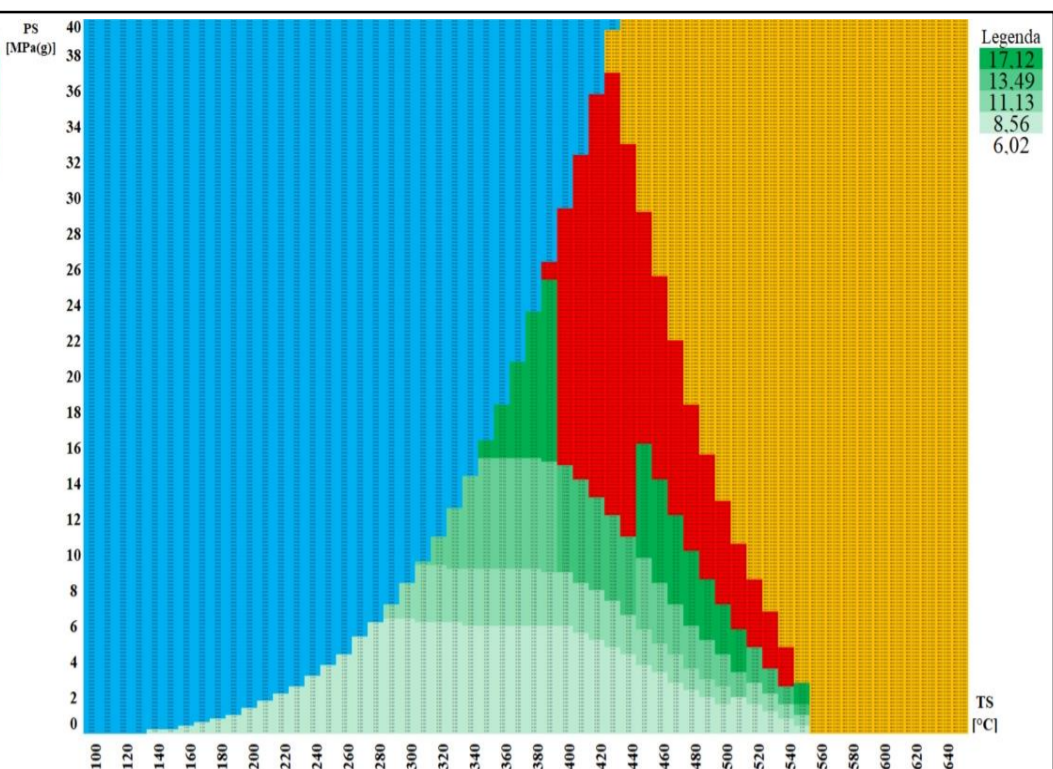
**P235GH**



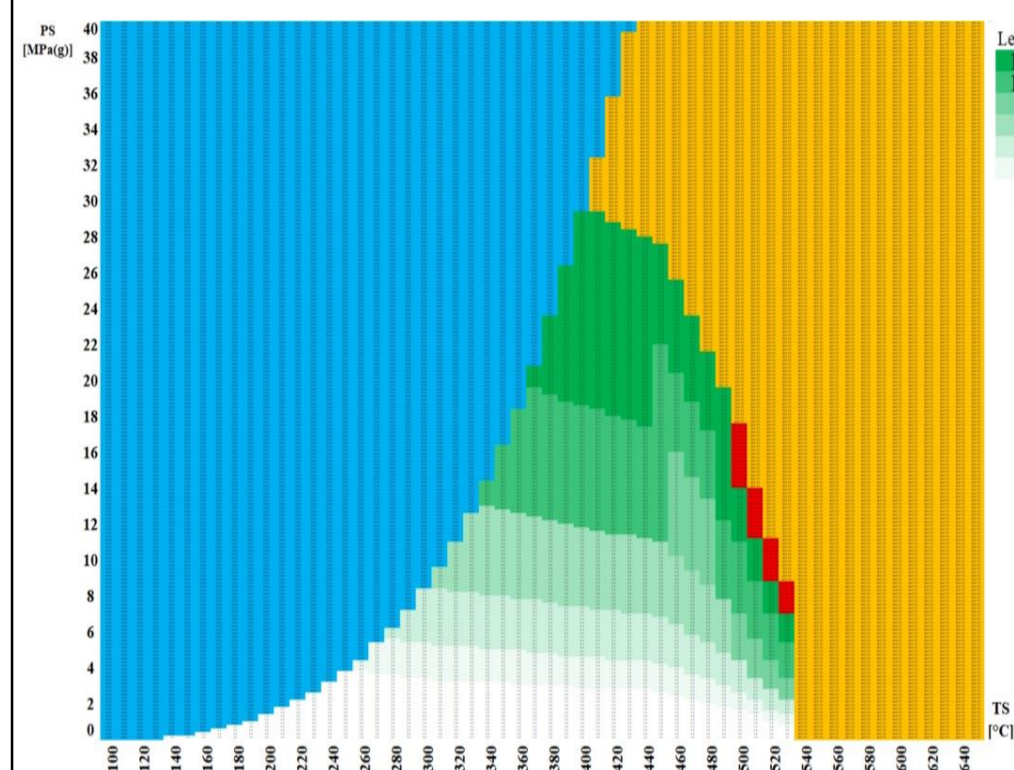
**A106-A**



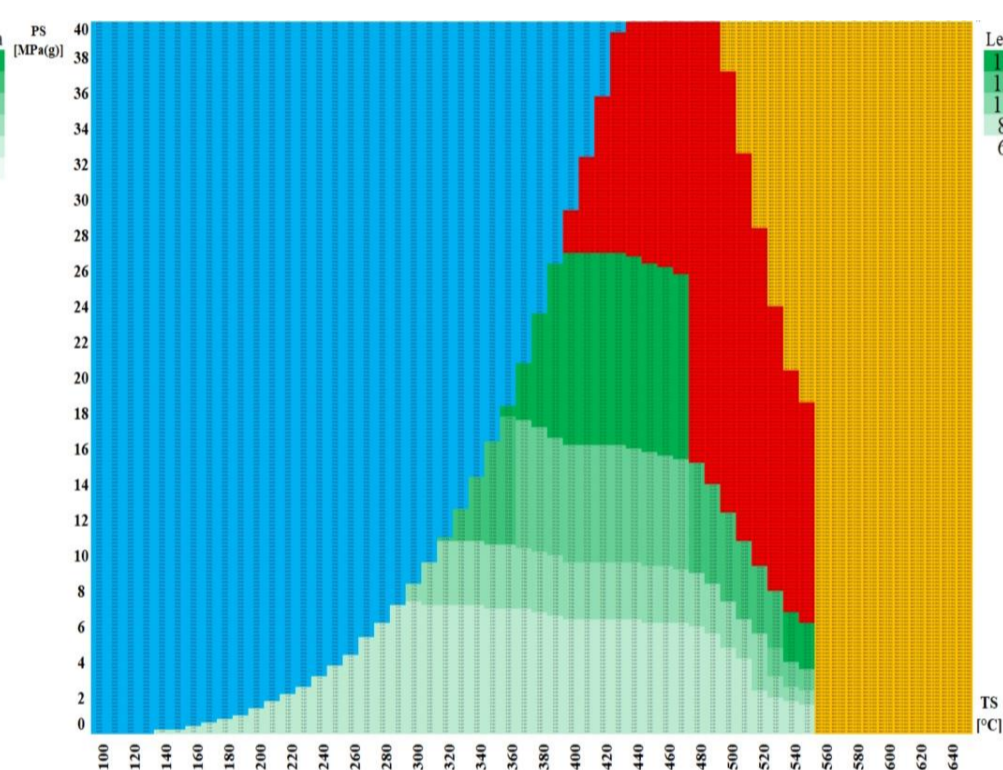
**P265GH**



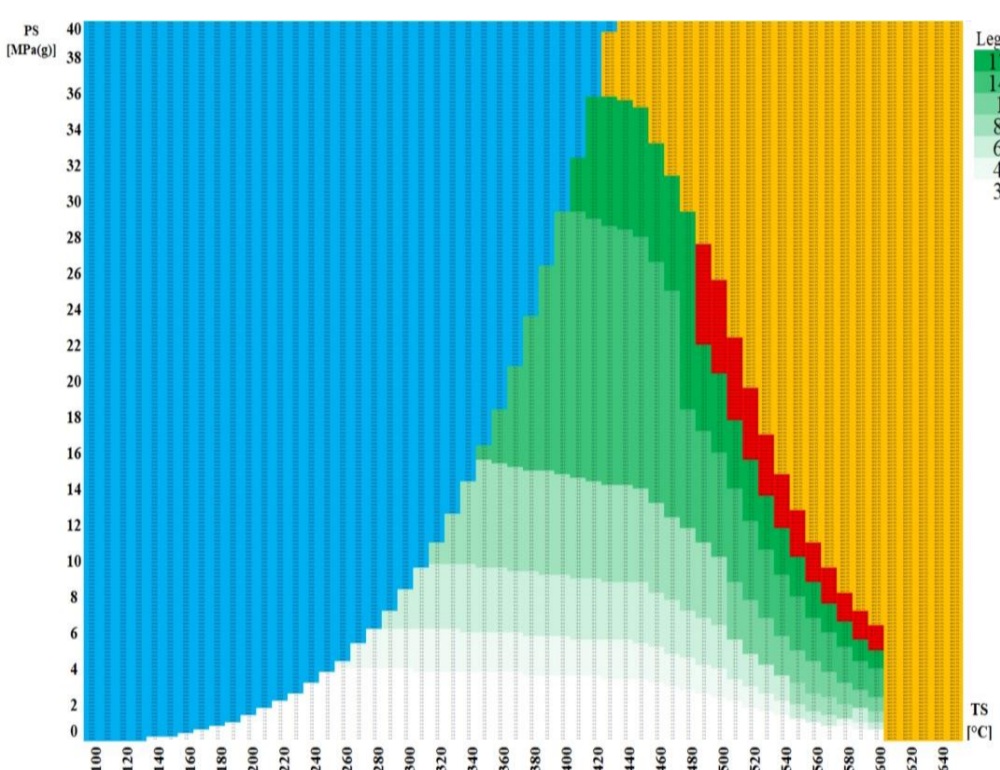
**A106-B**



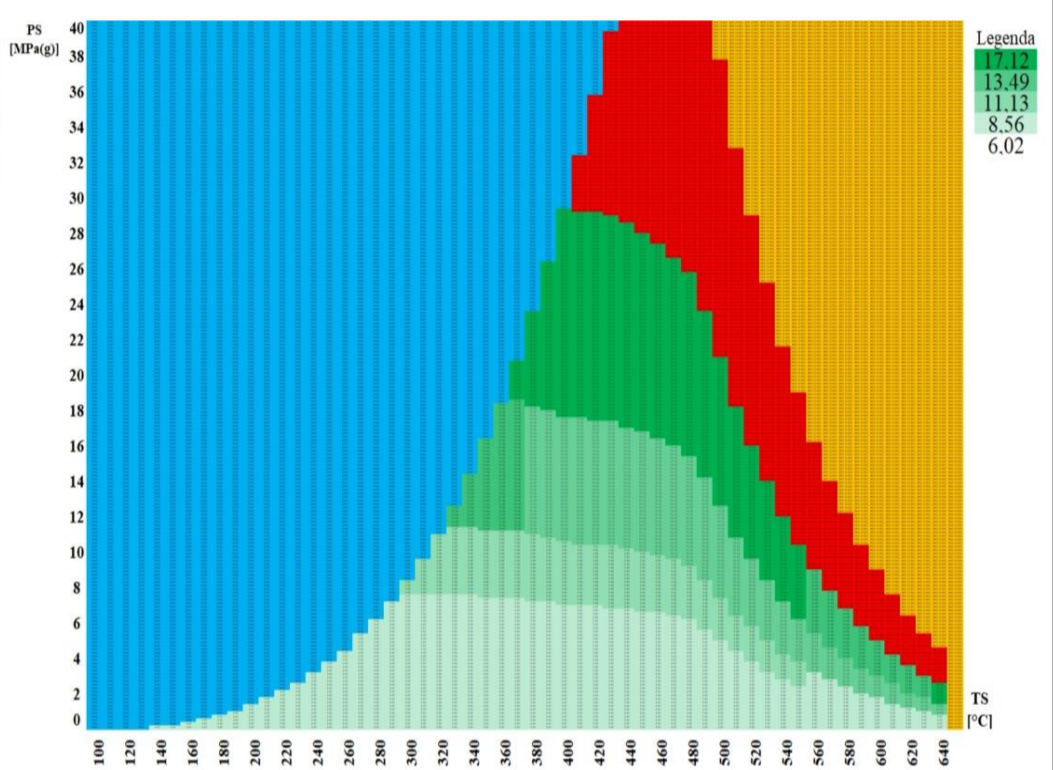
**16Mo3**



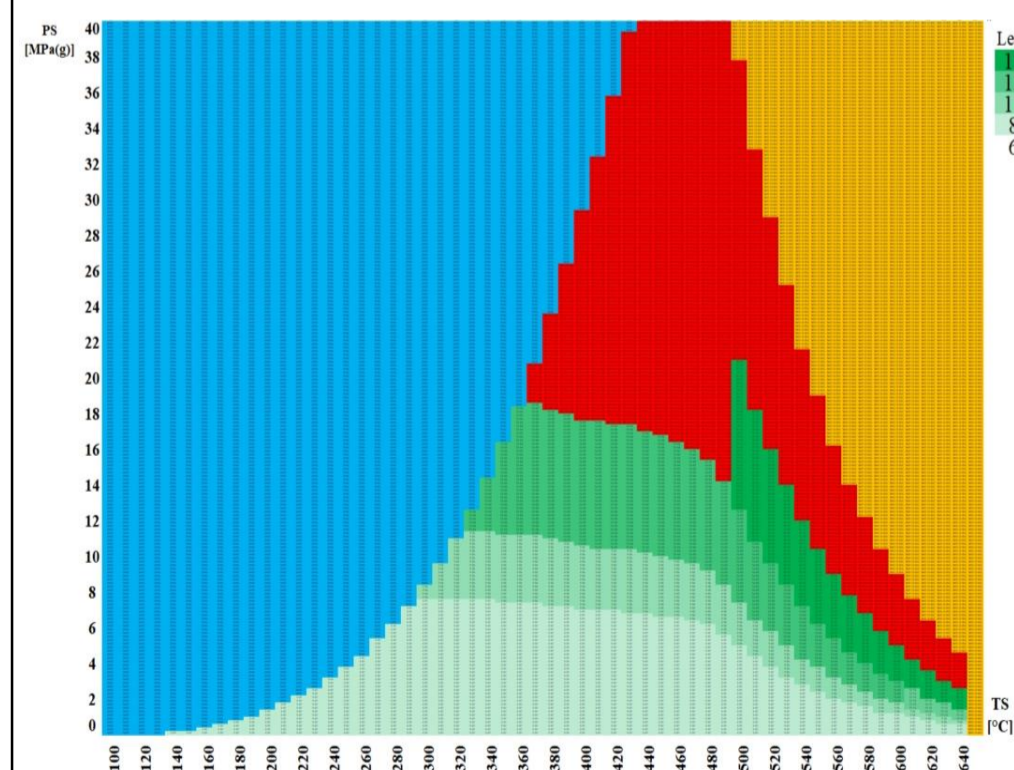
**A335-P1**



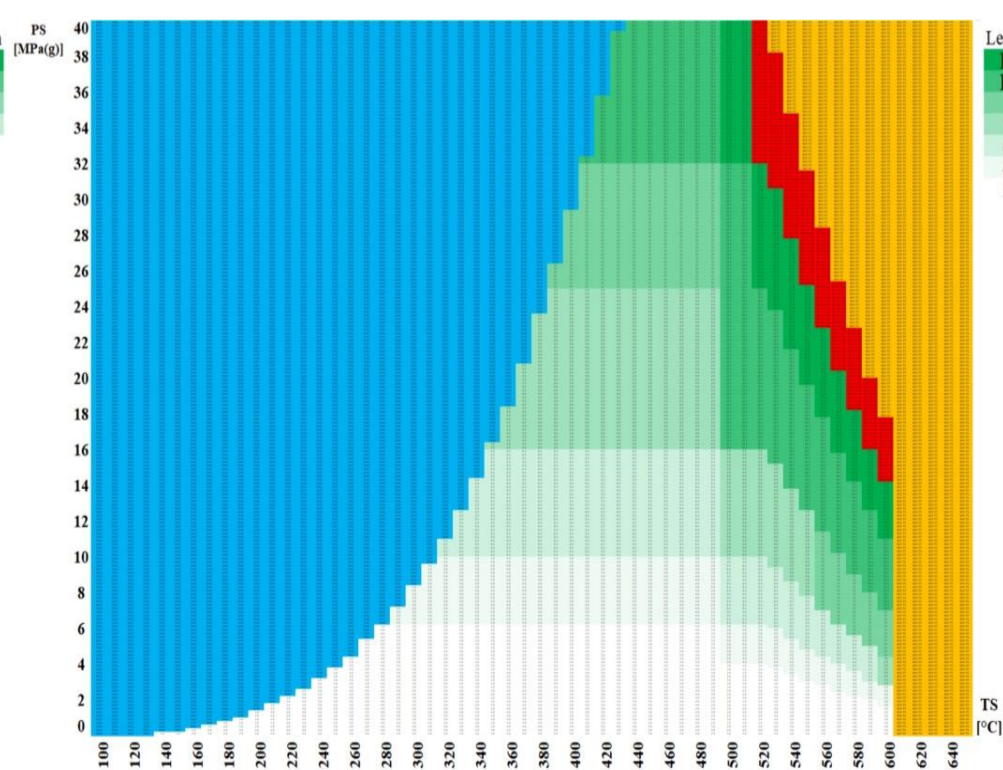
**10CrMo9-10**



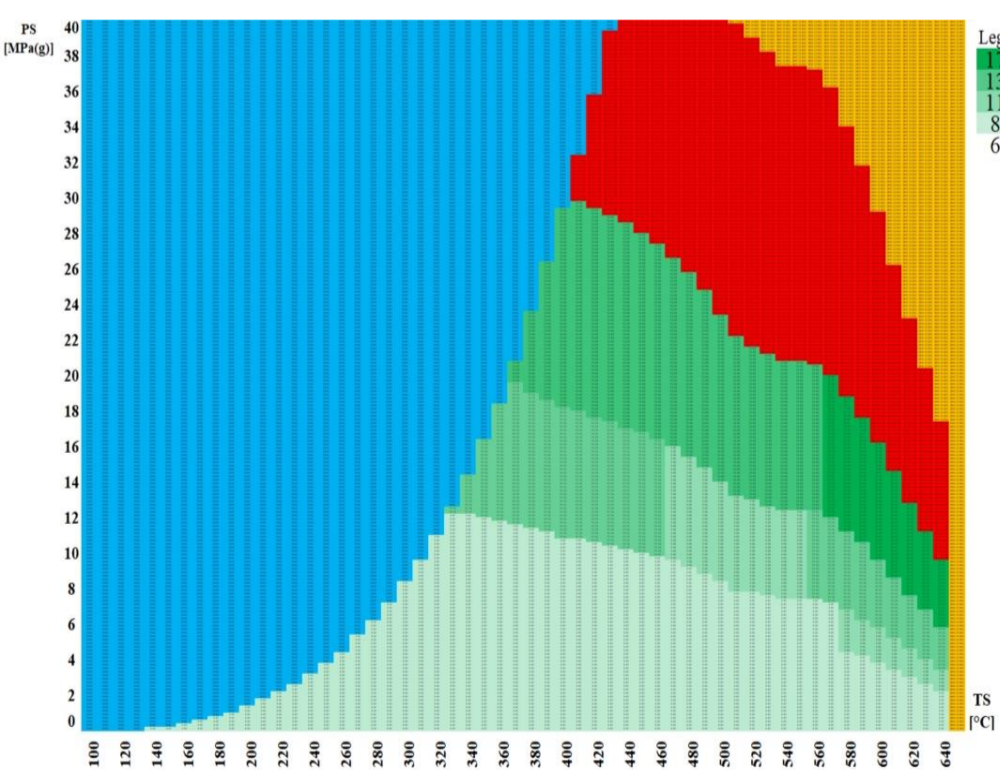
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



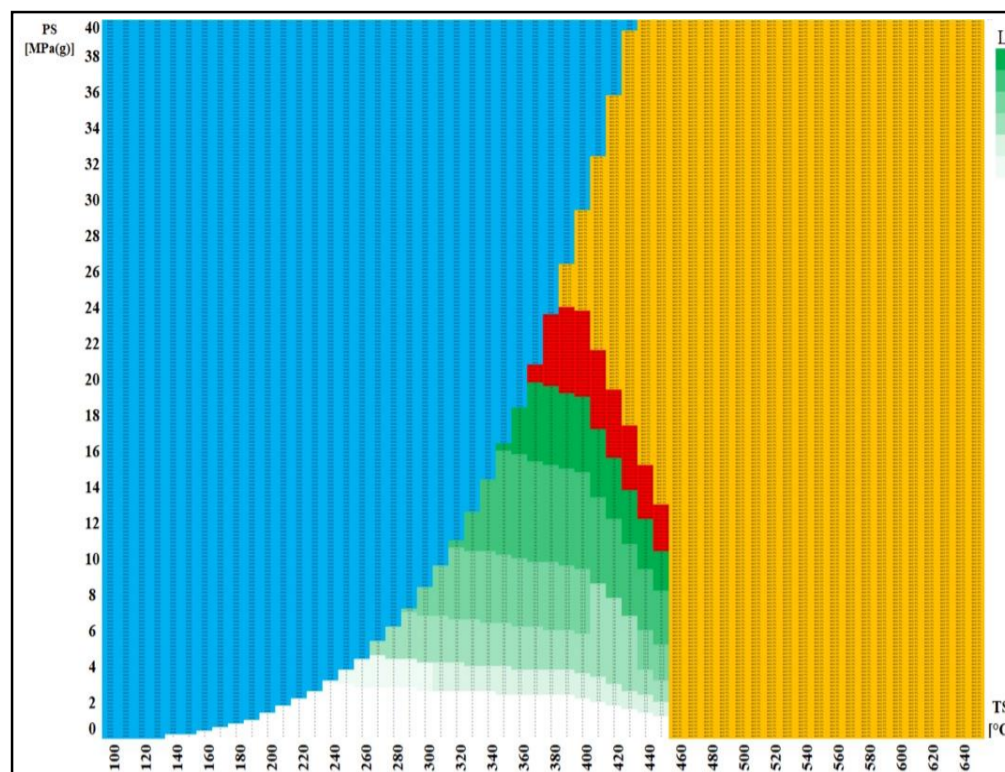
**A335 – P91**

*DN 100 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

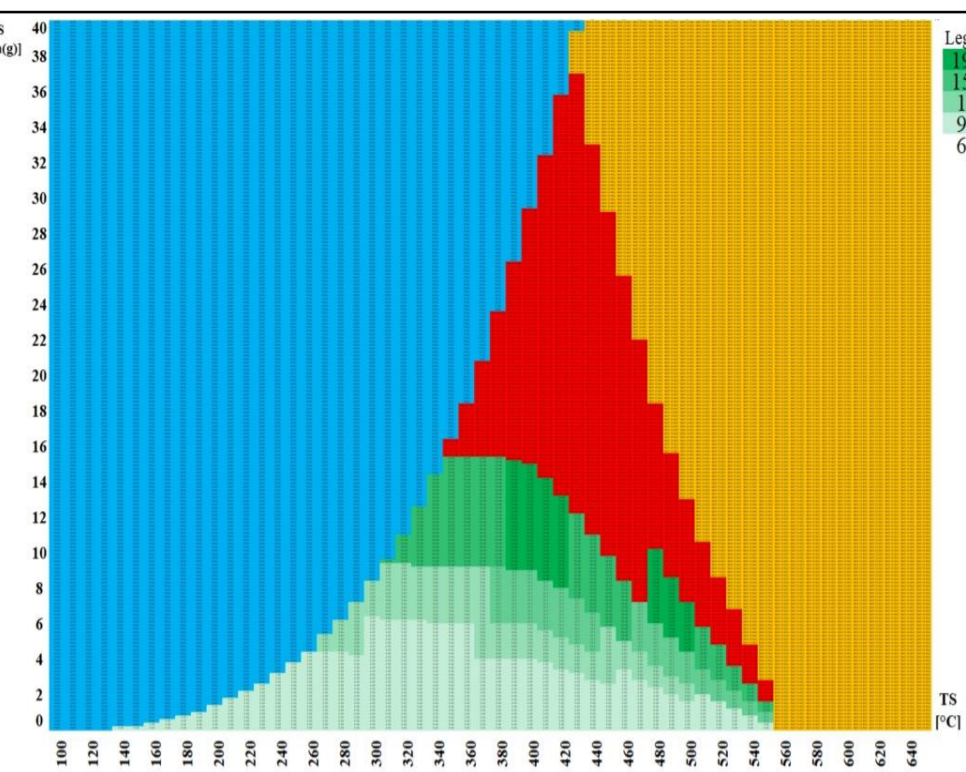
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

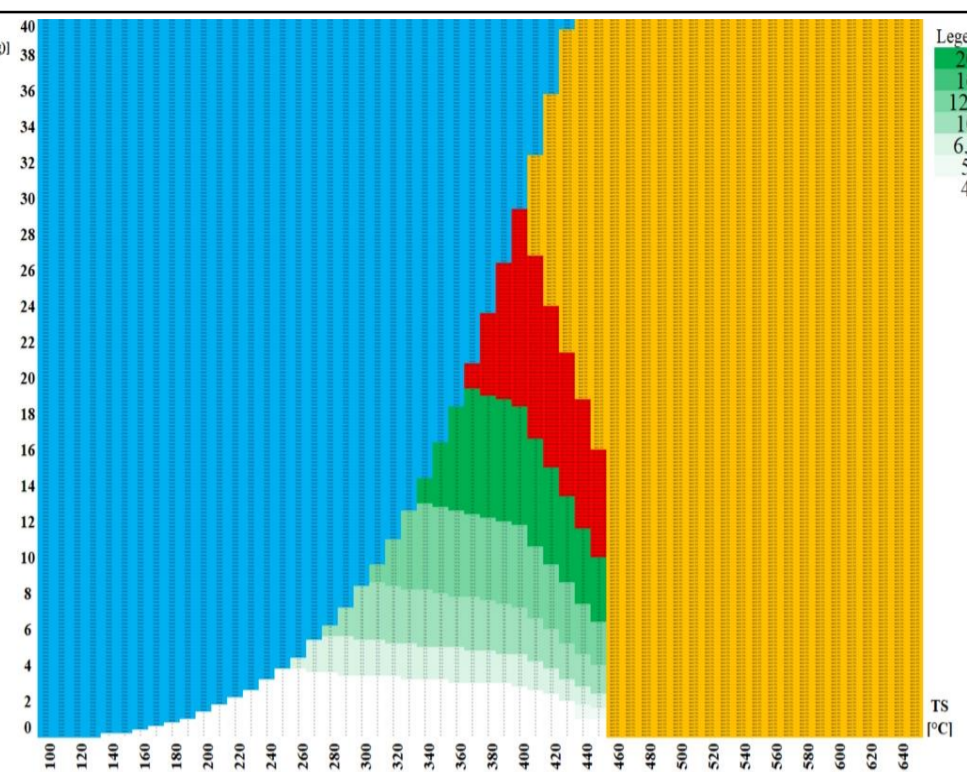
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



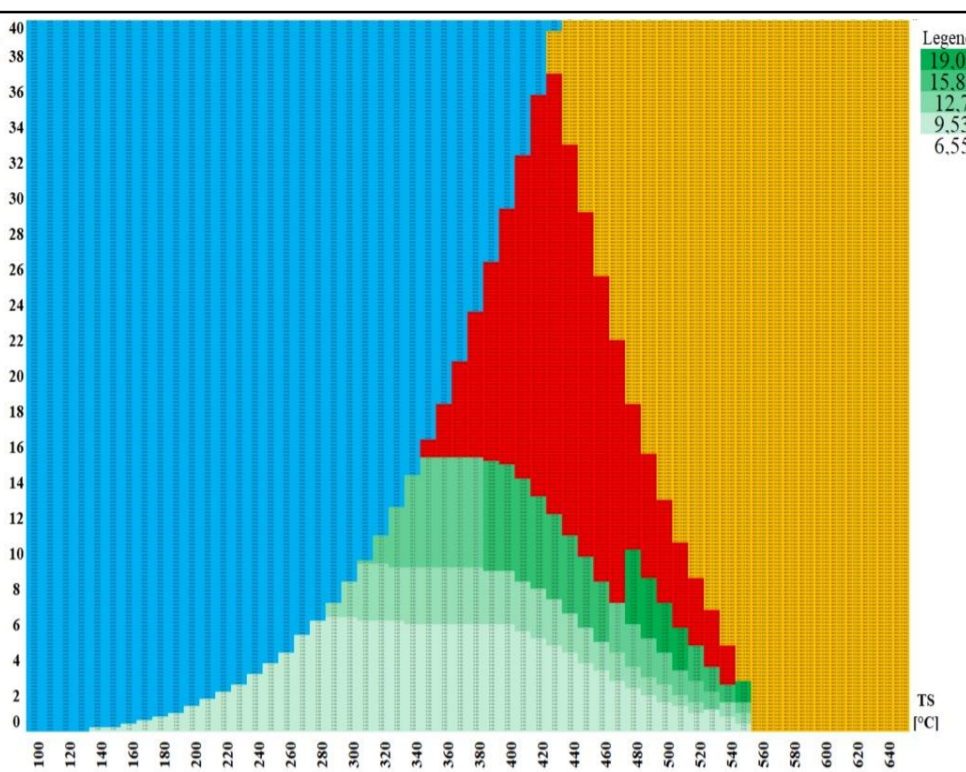
**P235GH**



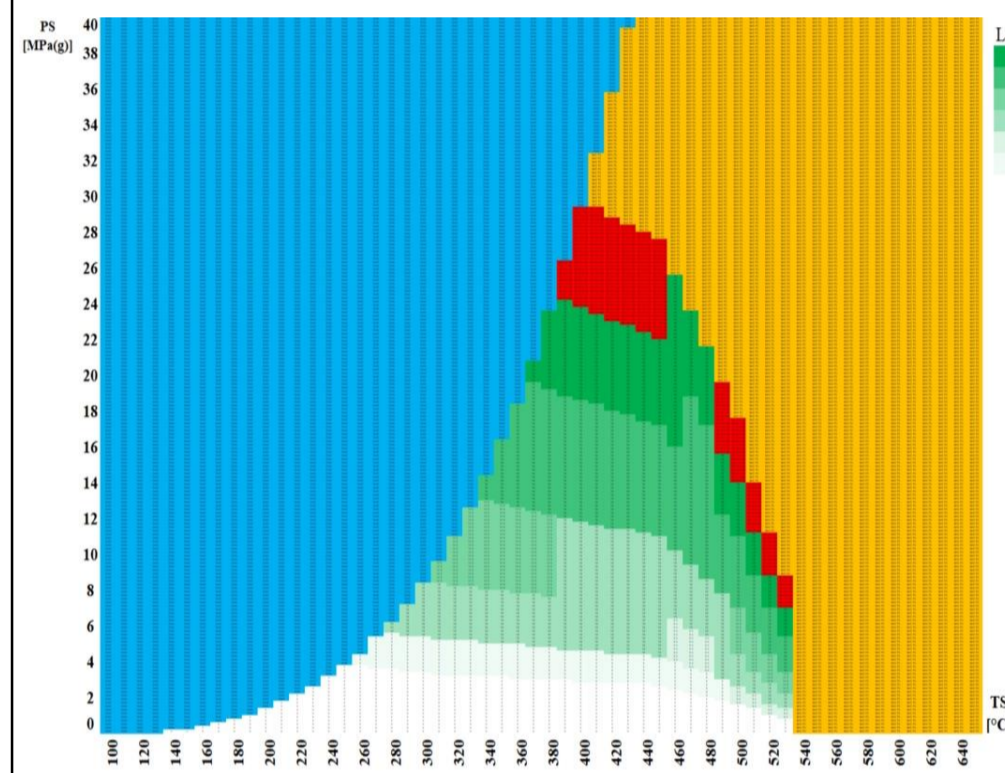
**A106-A**



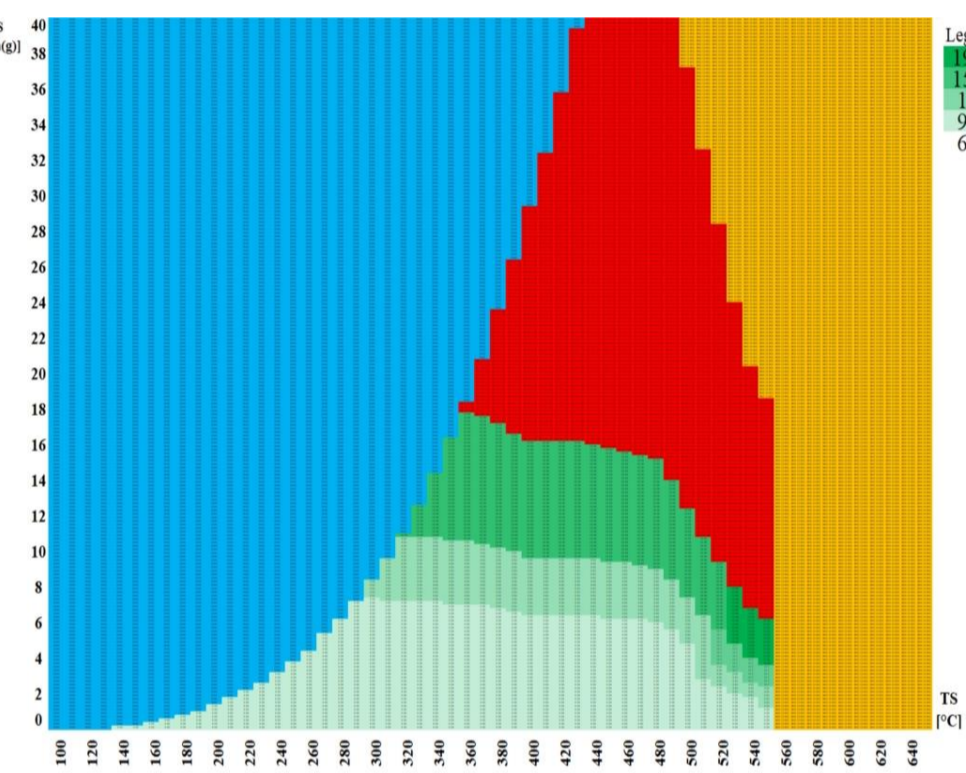
**P265GH**



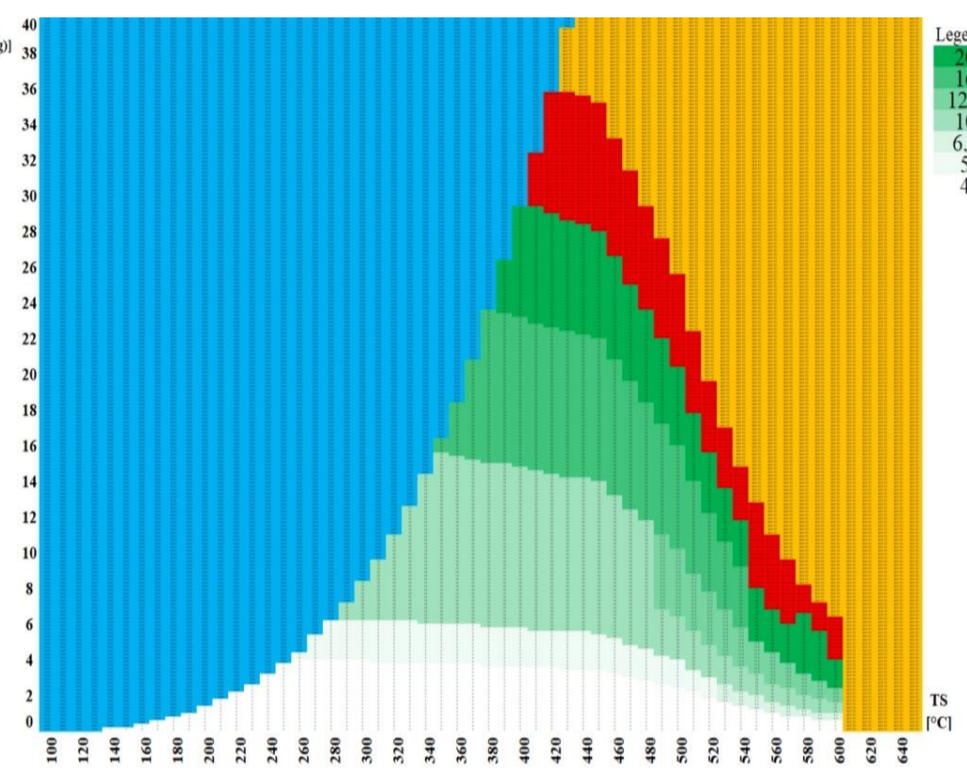
**A106-B**



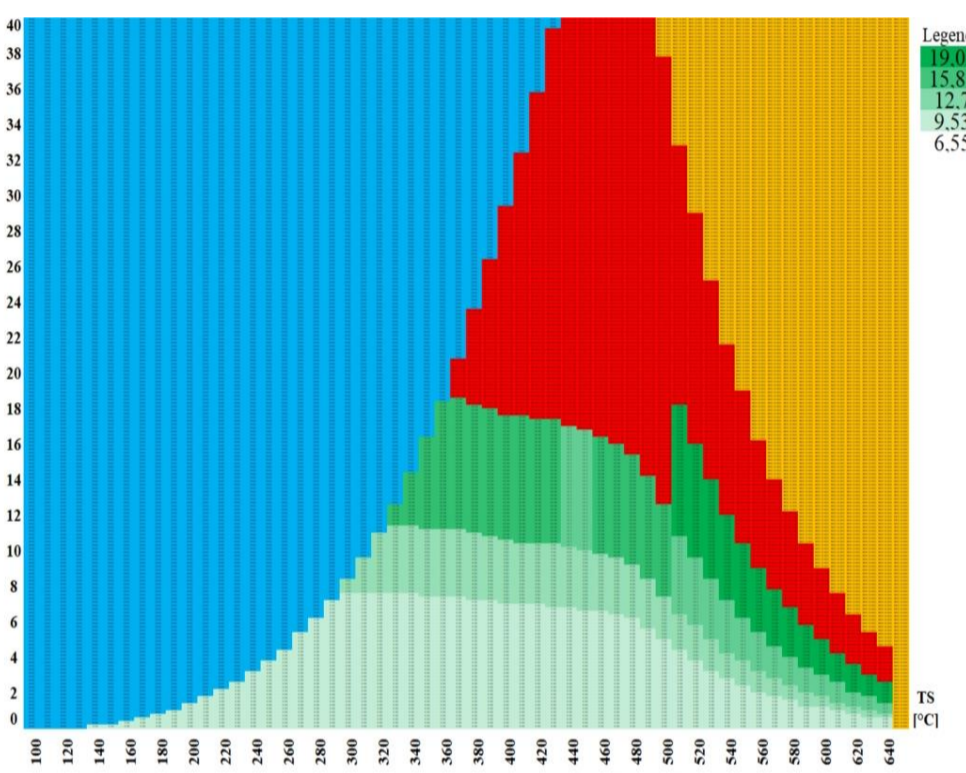
**16Mo3**



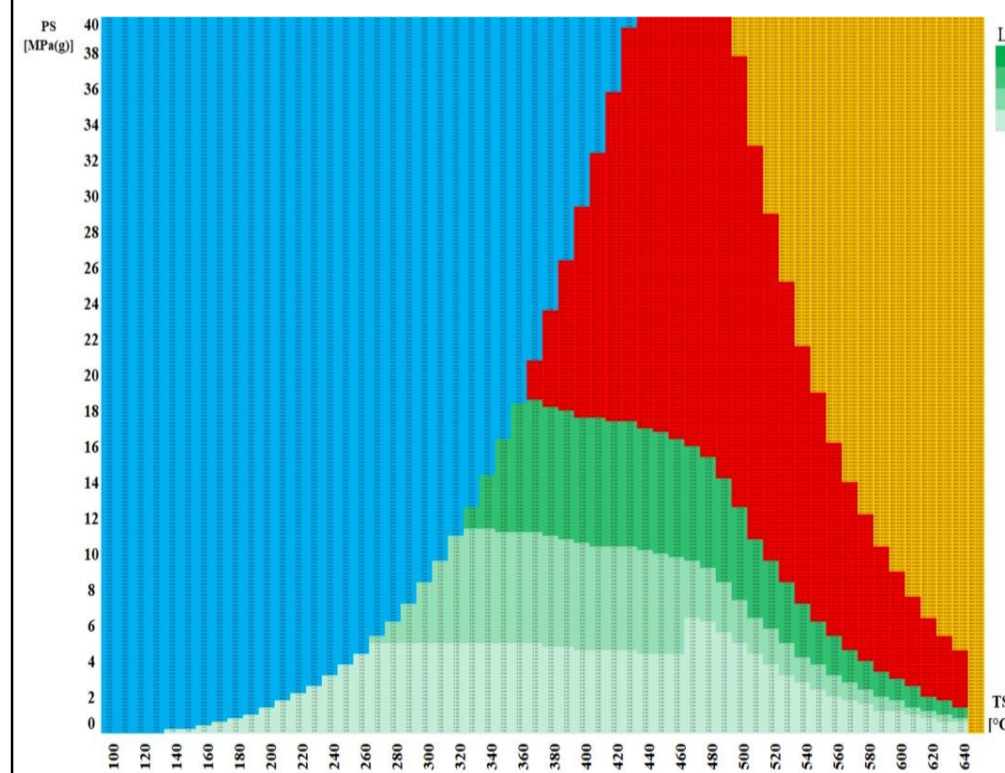
**A335-P1**



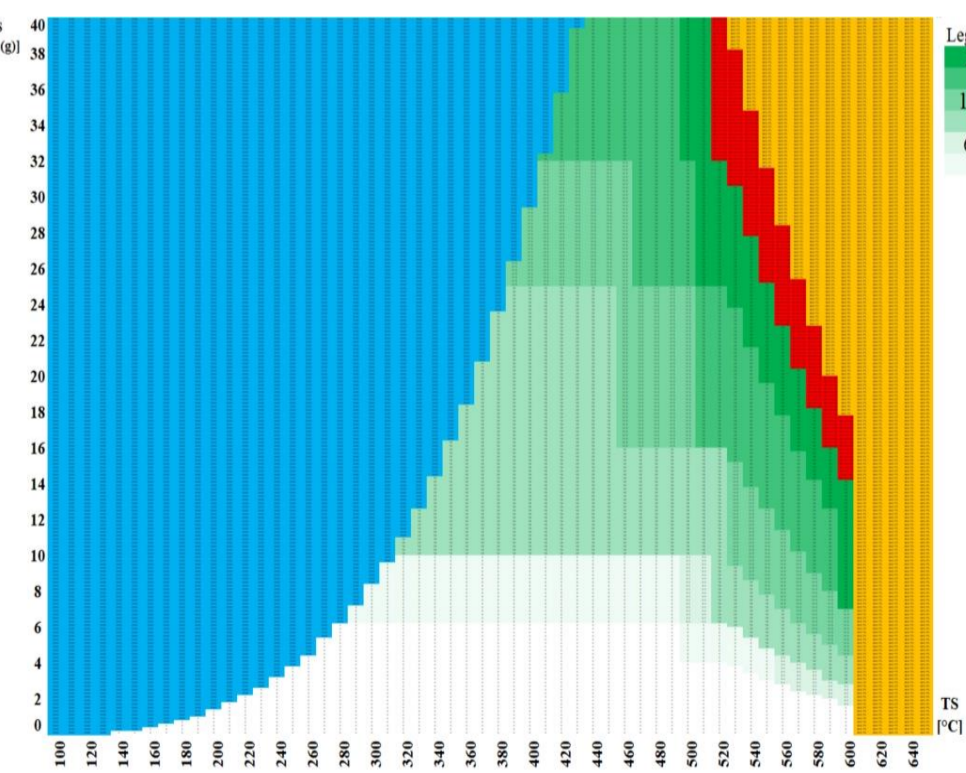
**10CrMo9-10**



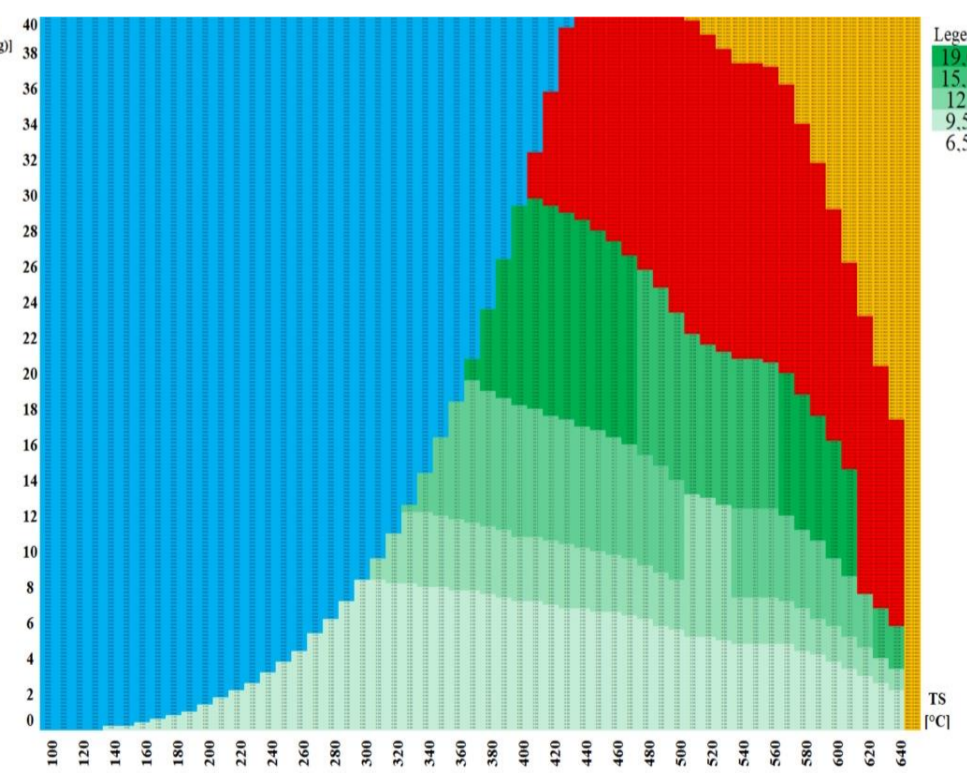
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



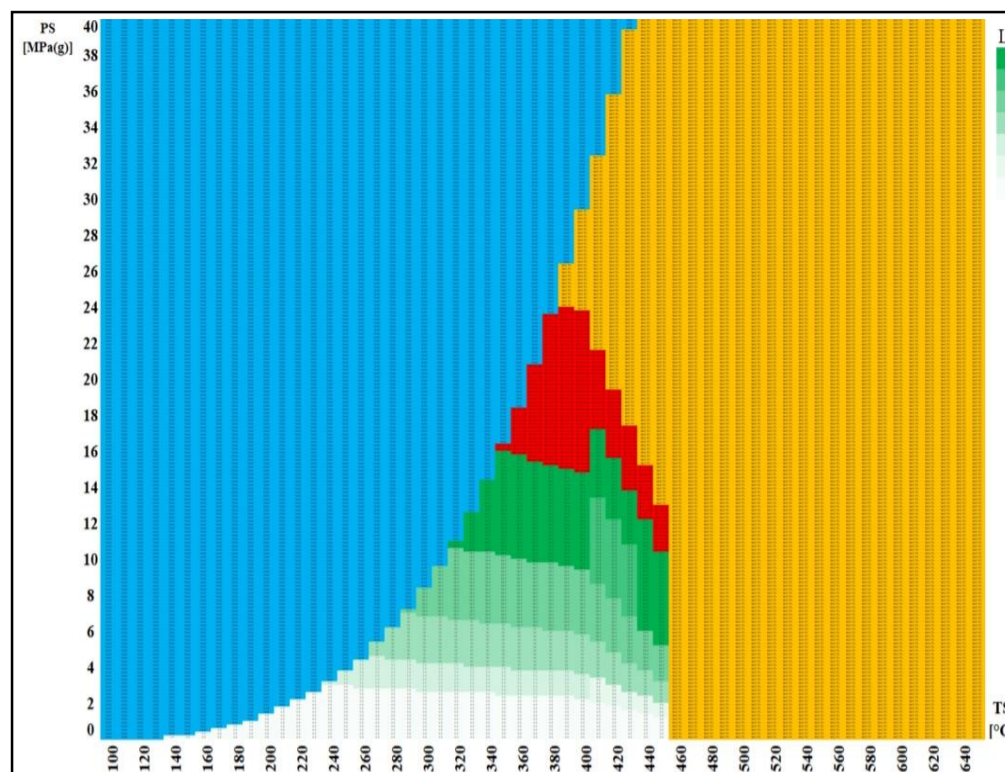
**A335 - P91**

*DN 125 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

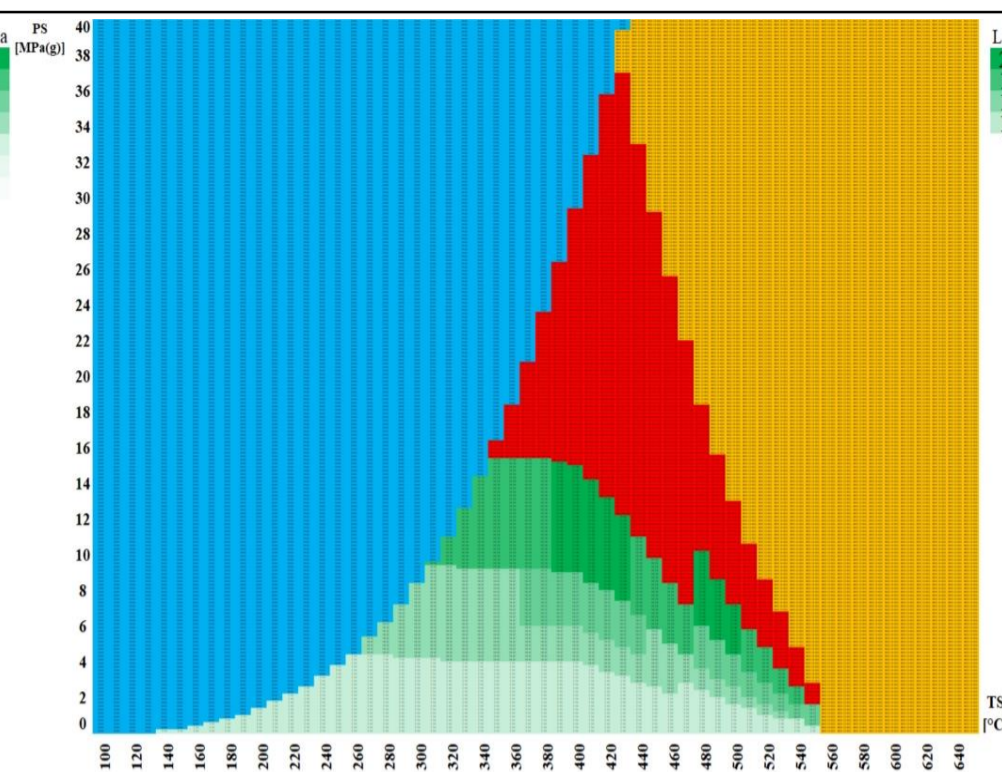
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

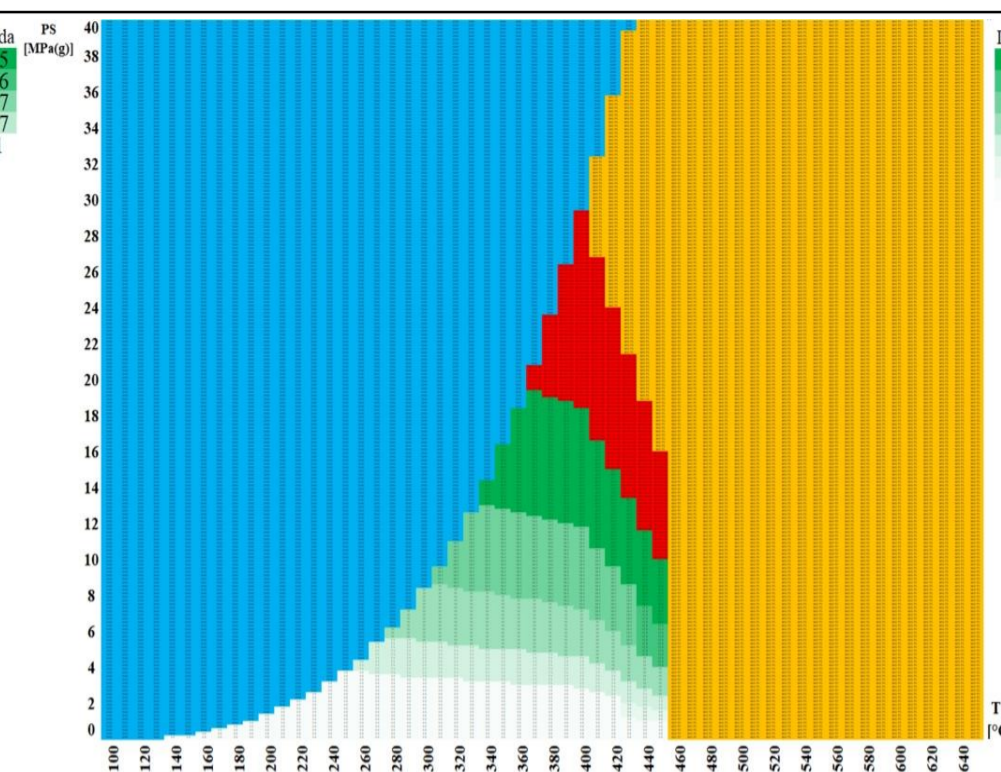
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



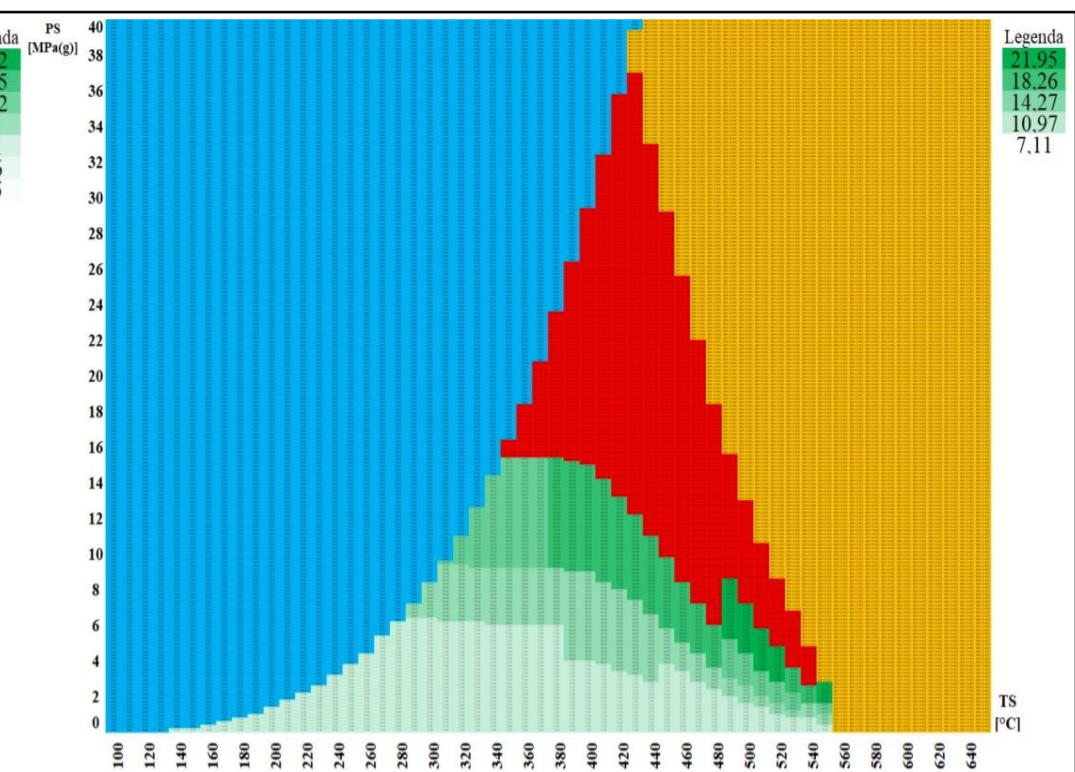
**P235GH**



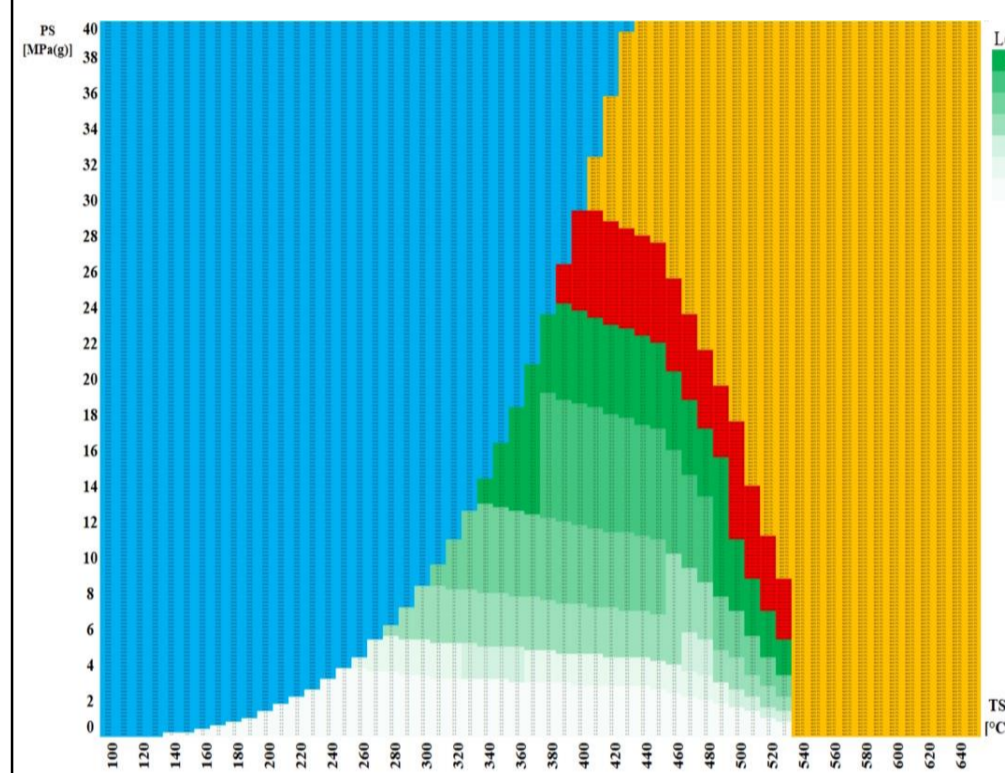
**A106-A**



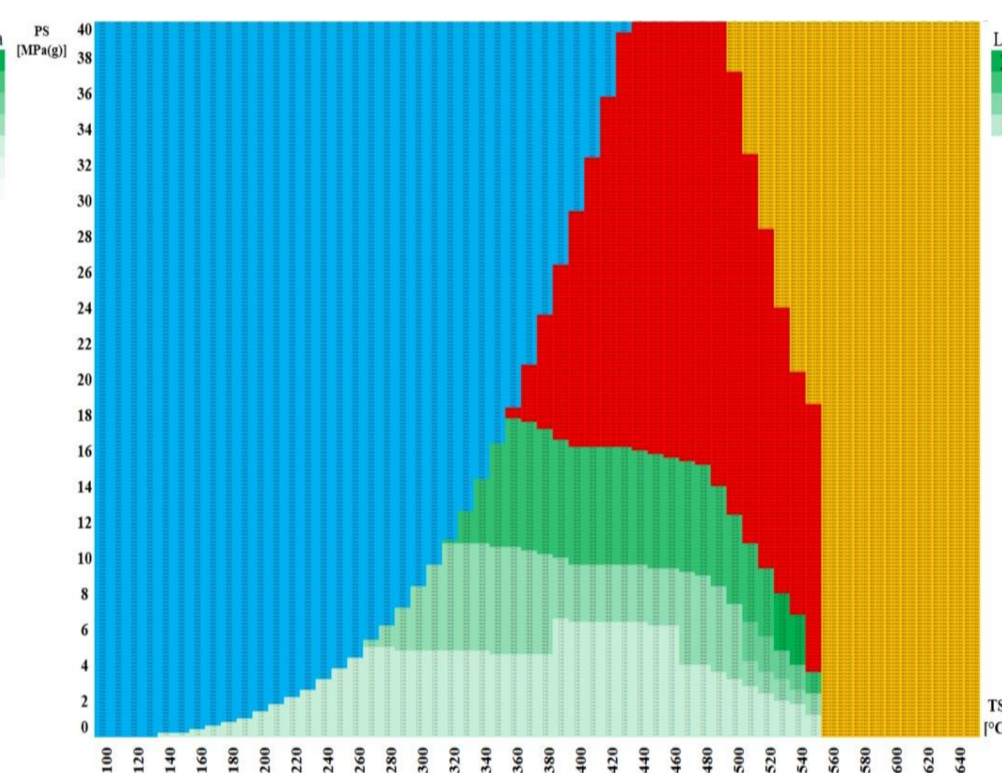
**P265GH**



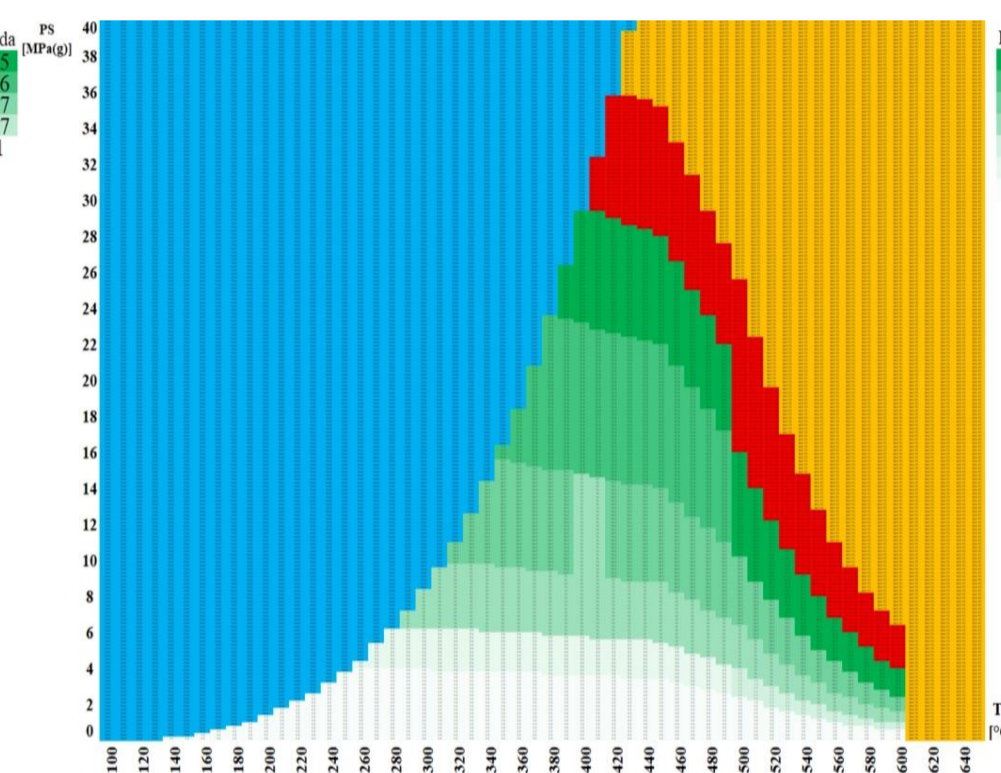
**A106-B**



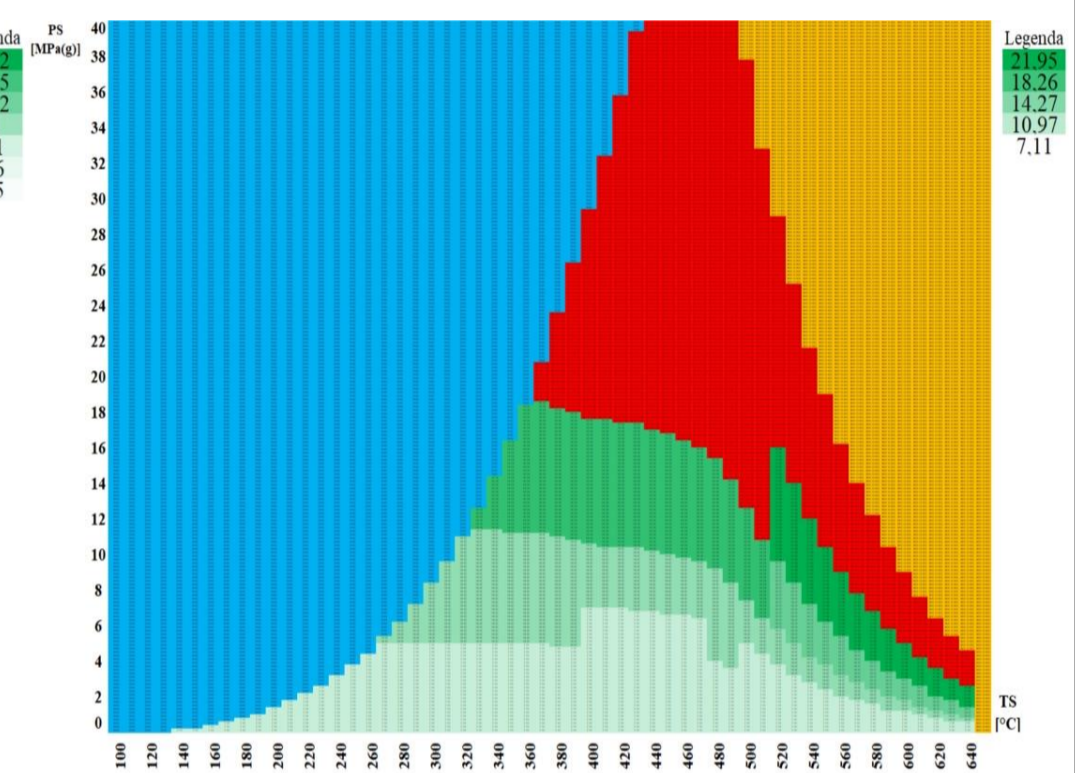
**16Mo3**



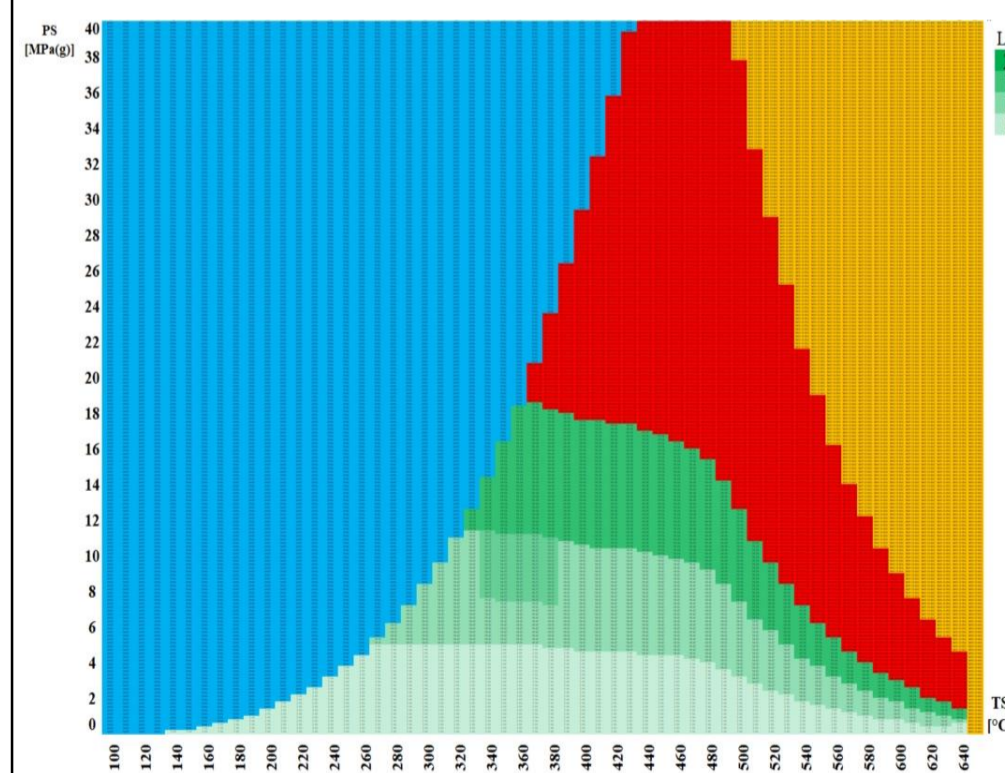
**A335-P1**



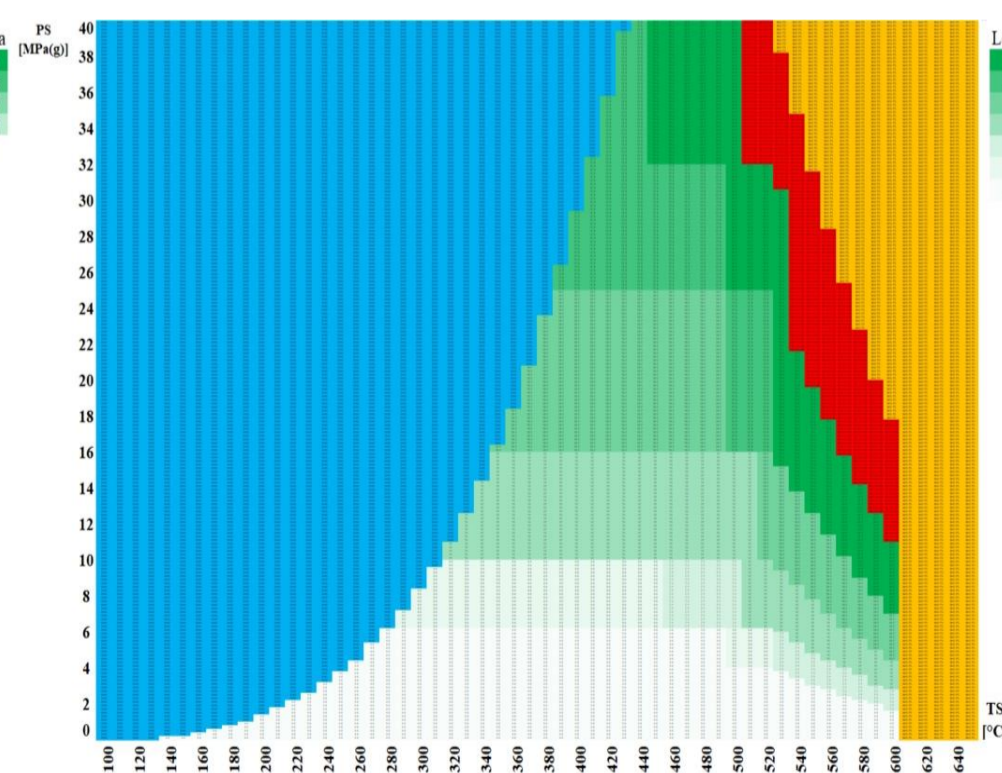
**10CrMo9-10**



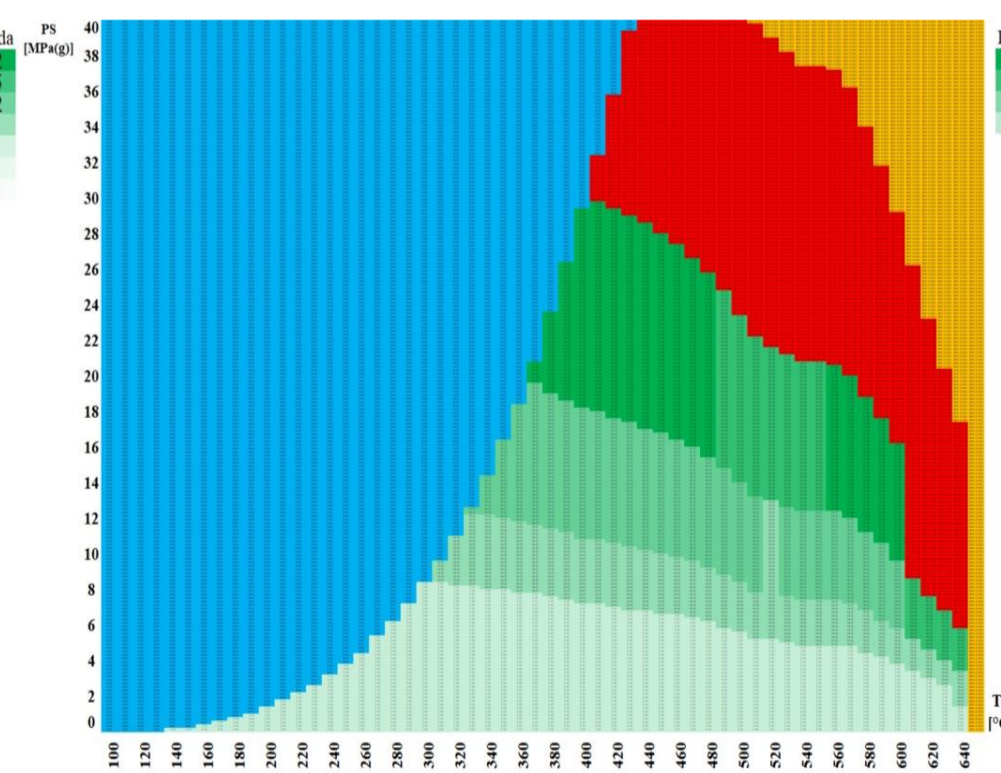
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



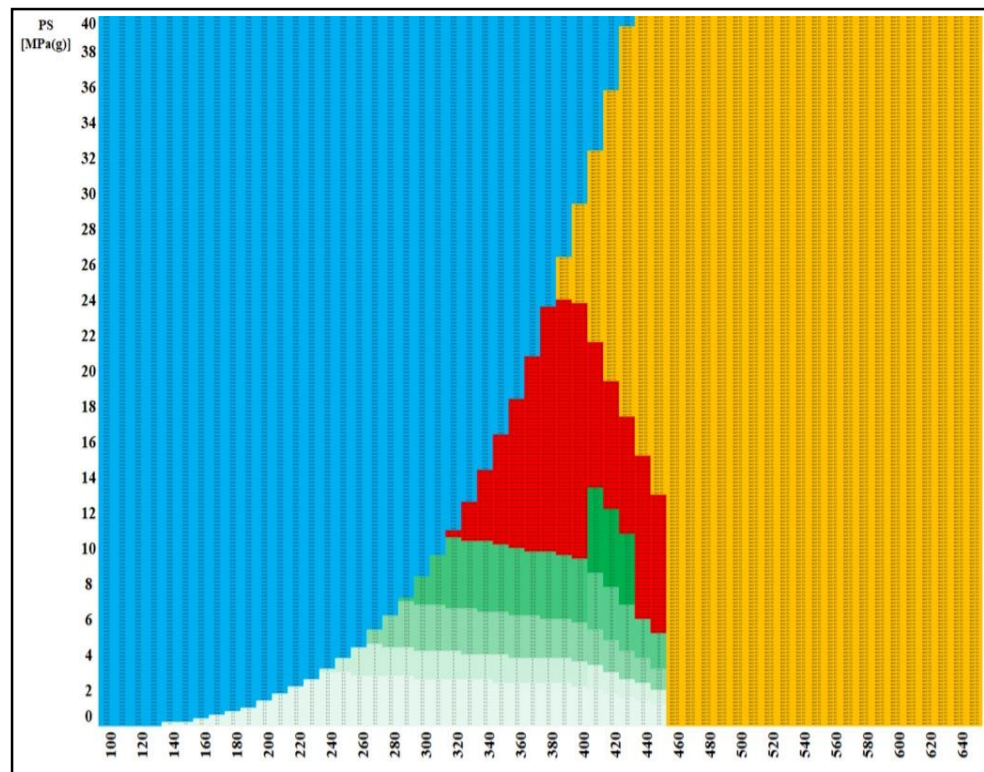
**A335 – P91**

*DN 150 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

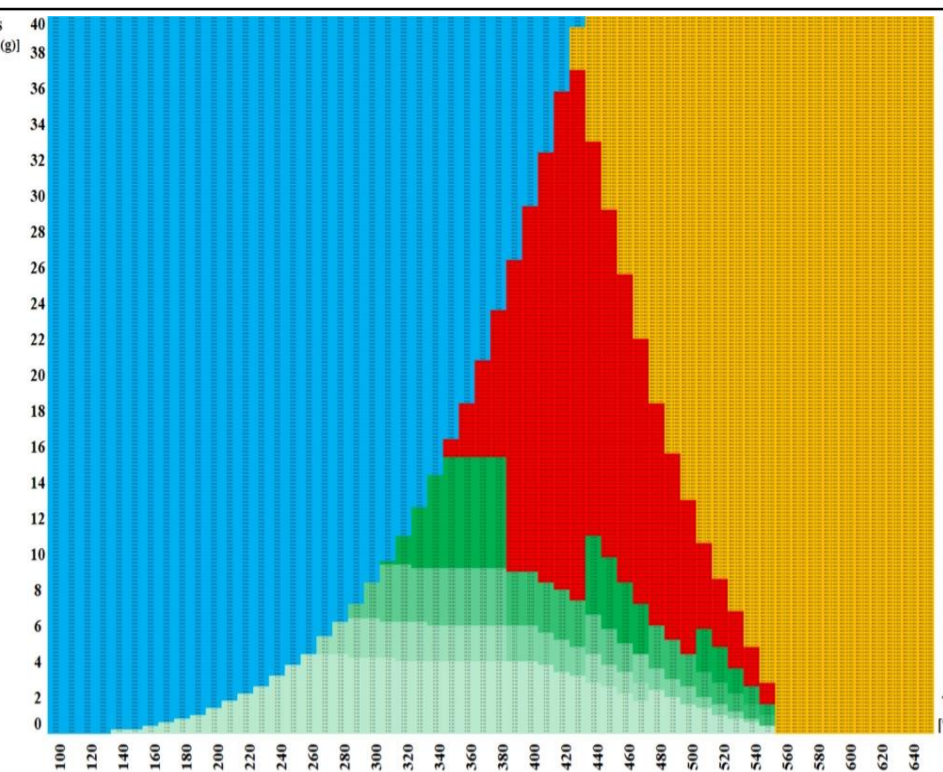
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

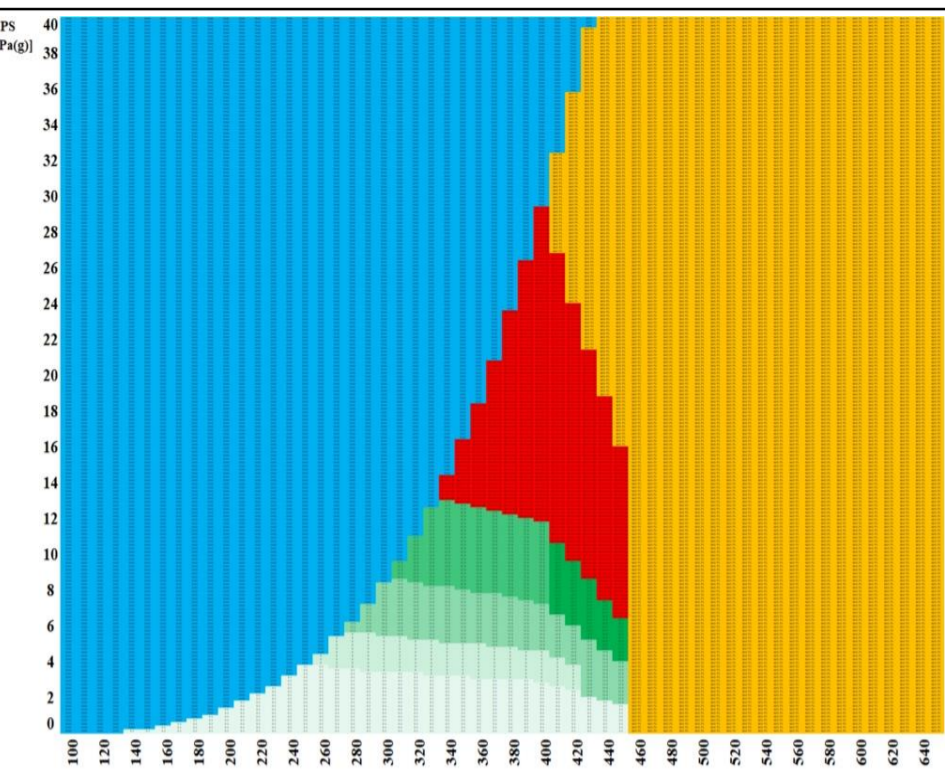
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



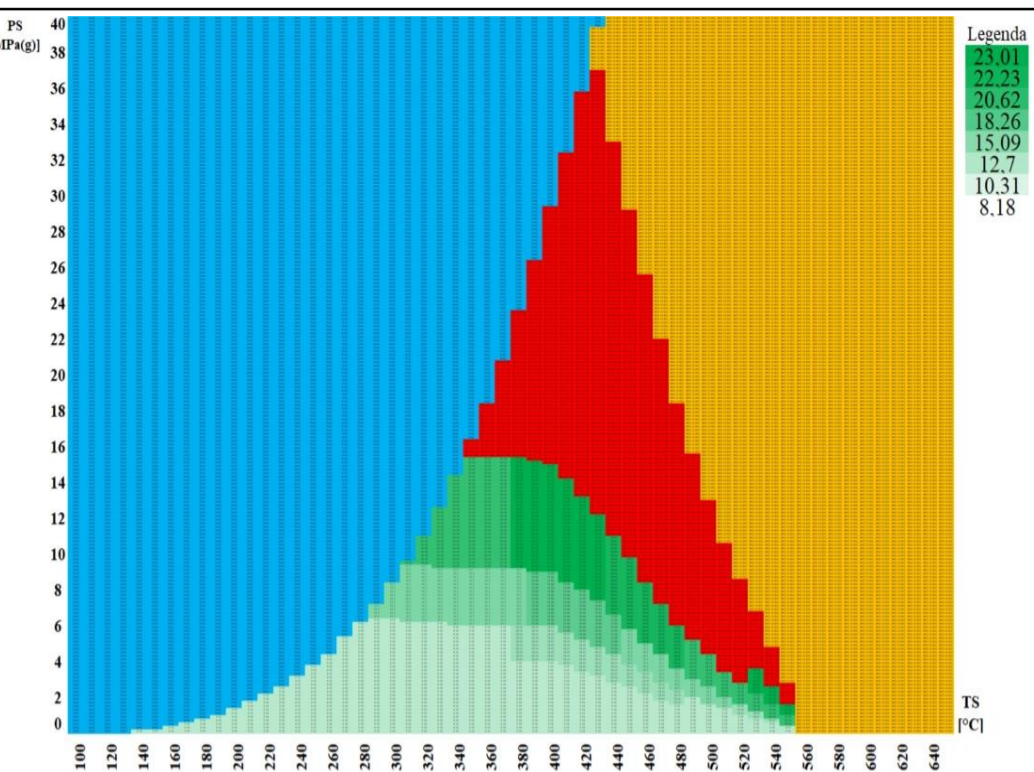
**P235GH**



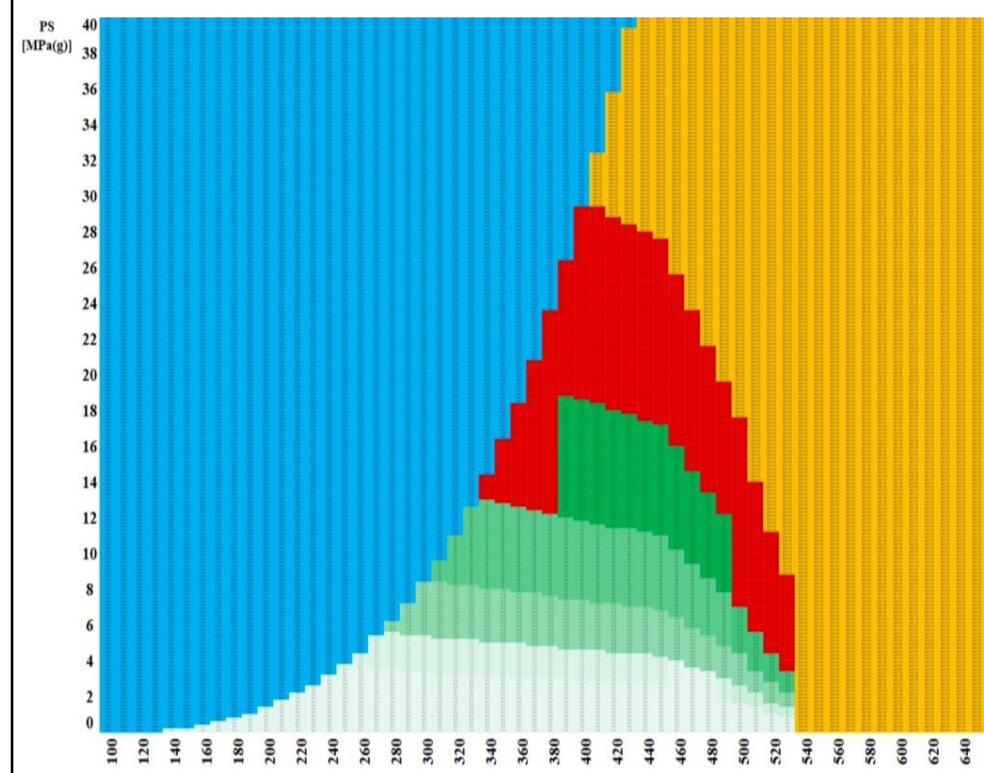
**A106-A**



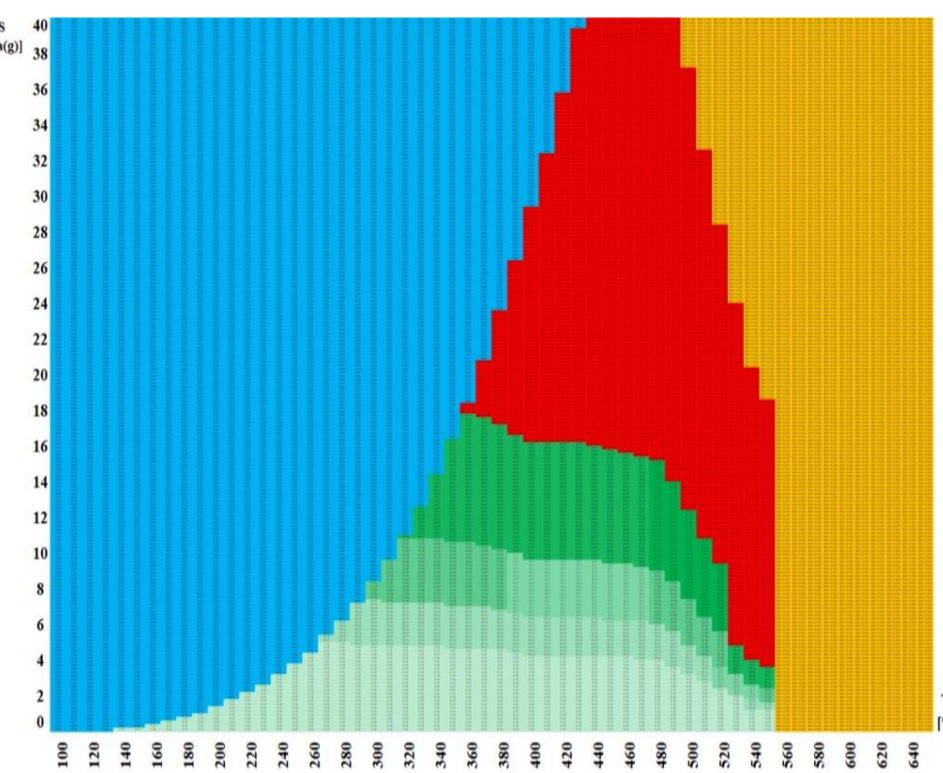
**P265GH**



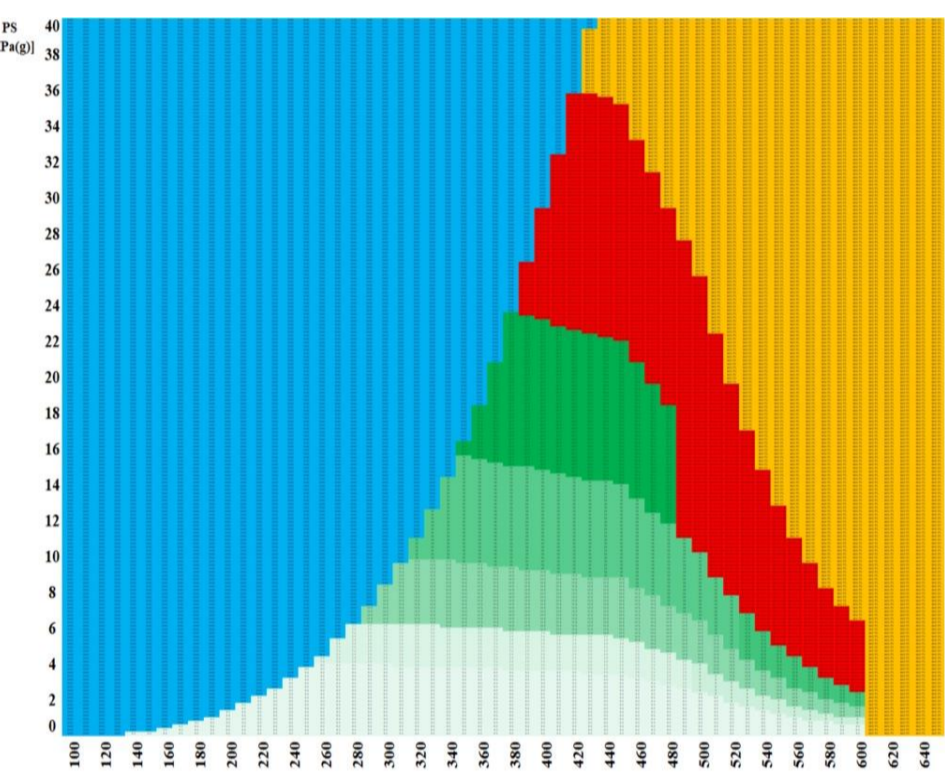
**A106-B**



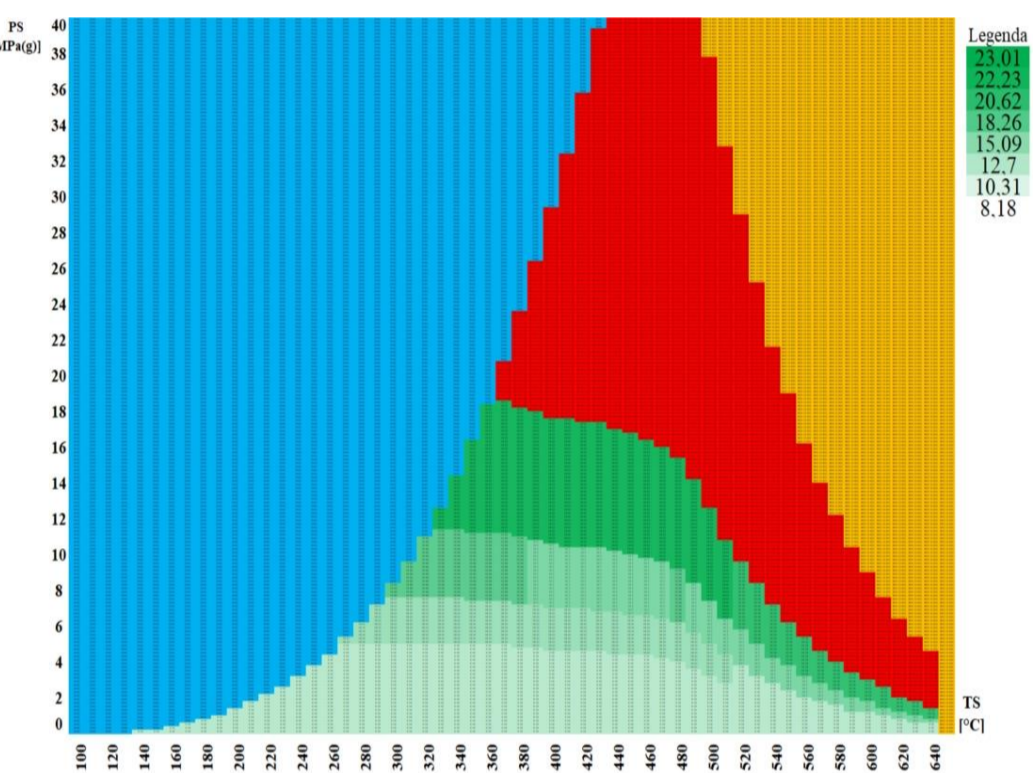
**16Mo3**



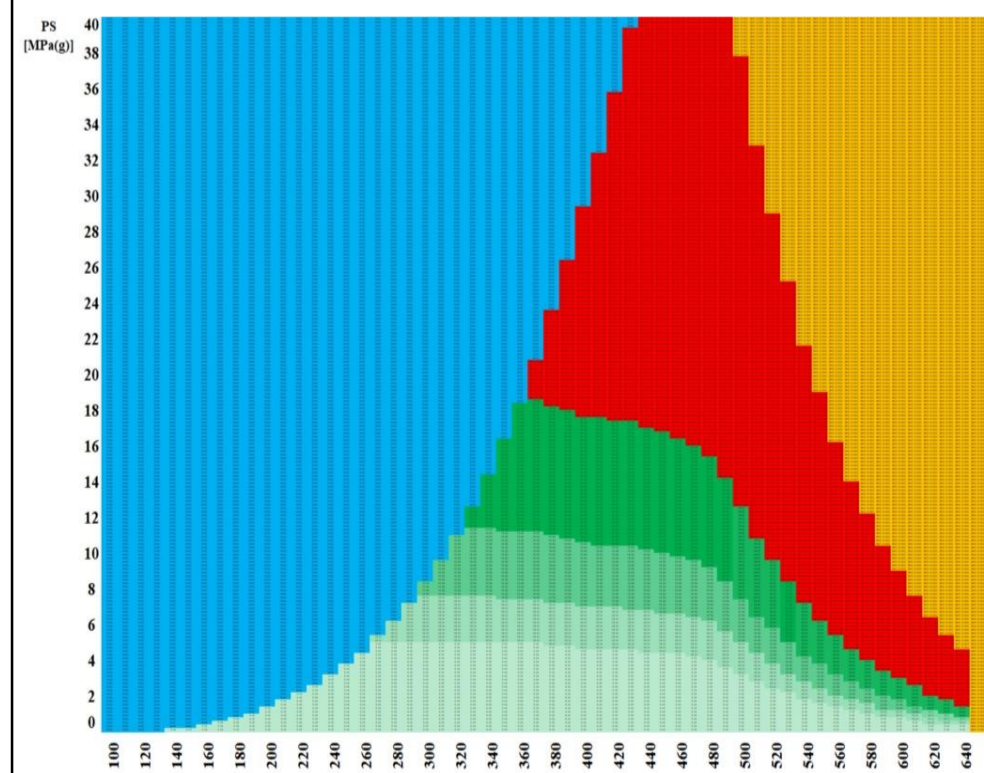
**A335-P1**



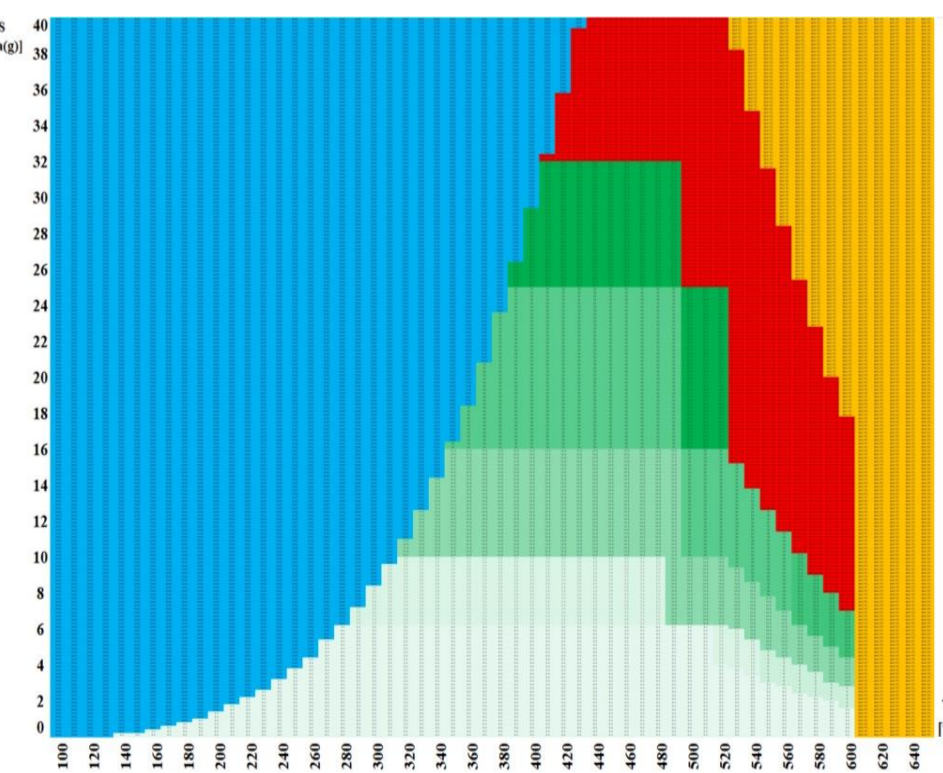
**10CrMo9-10**



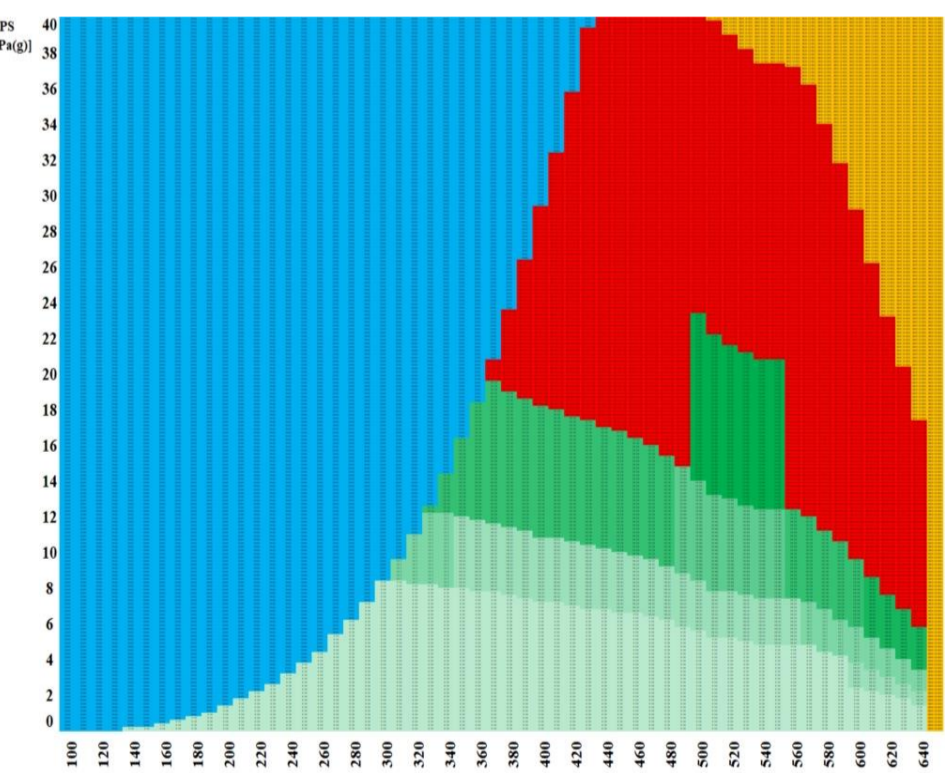
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



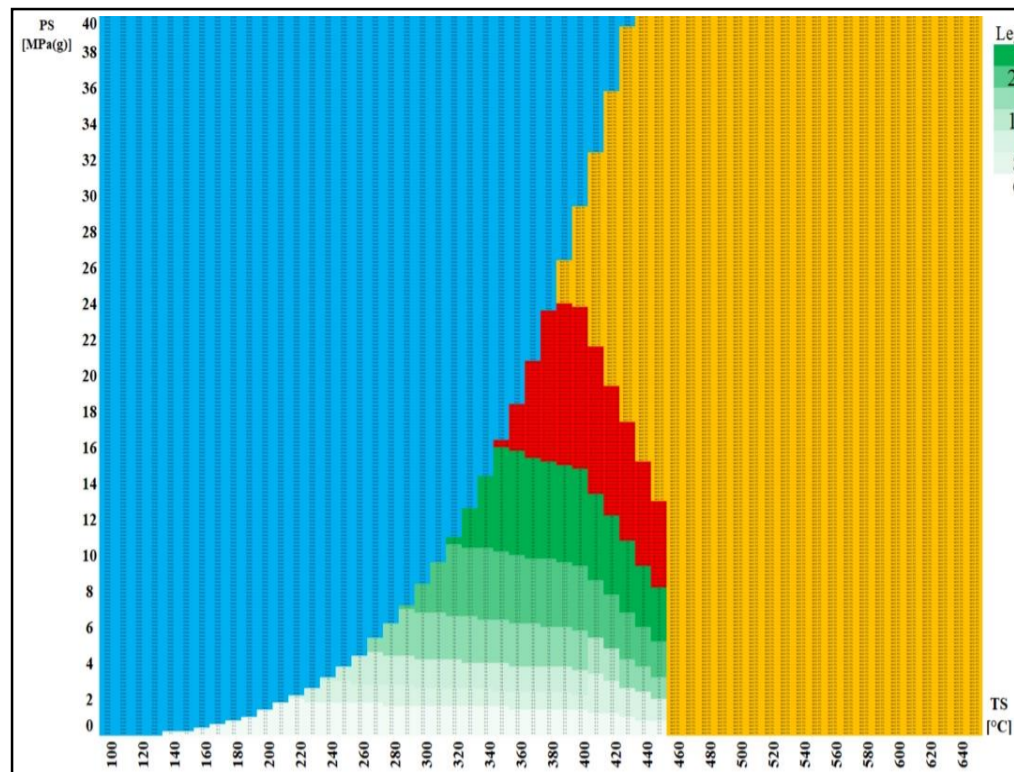
**A335 – P91**

*DN 200 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

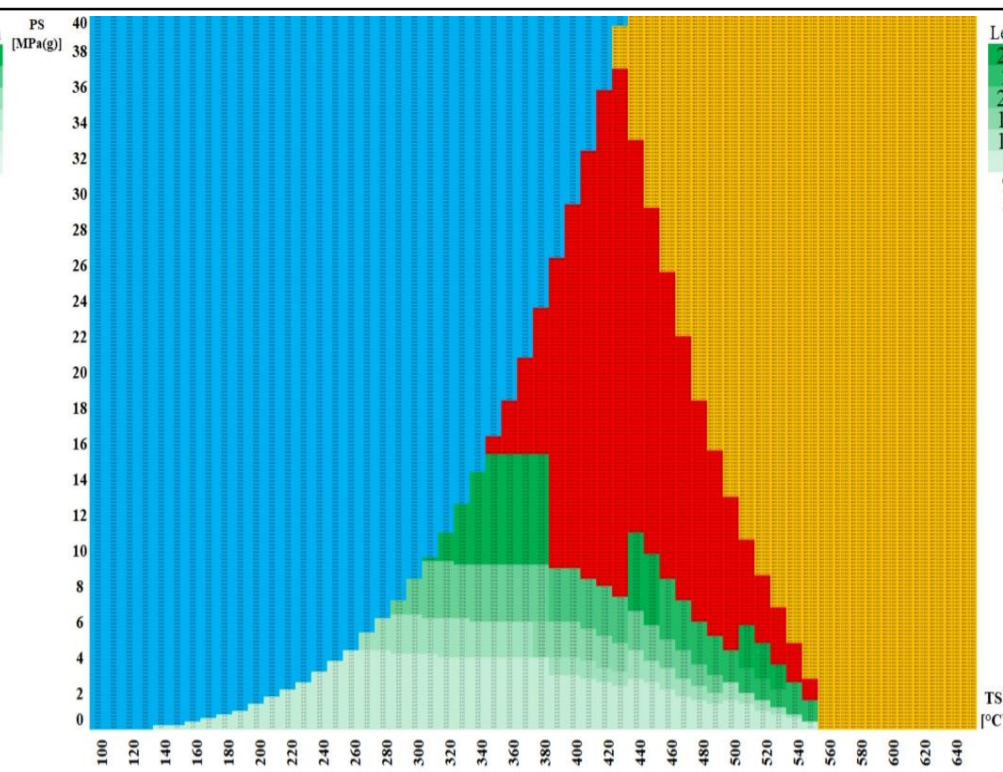
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

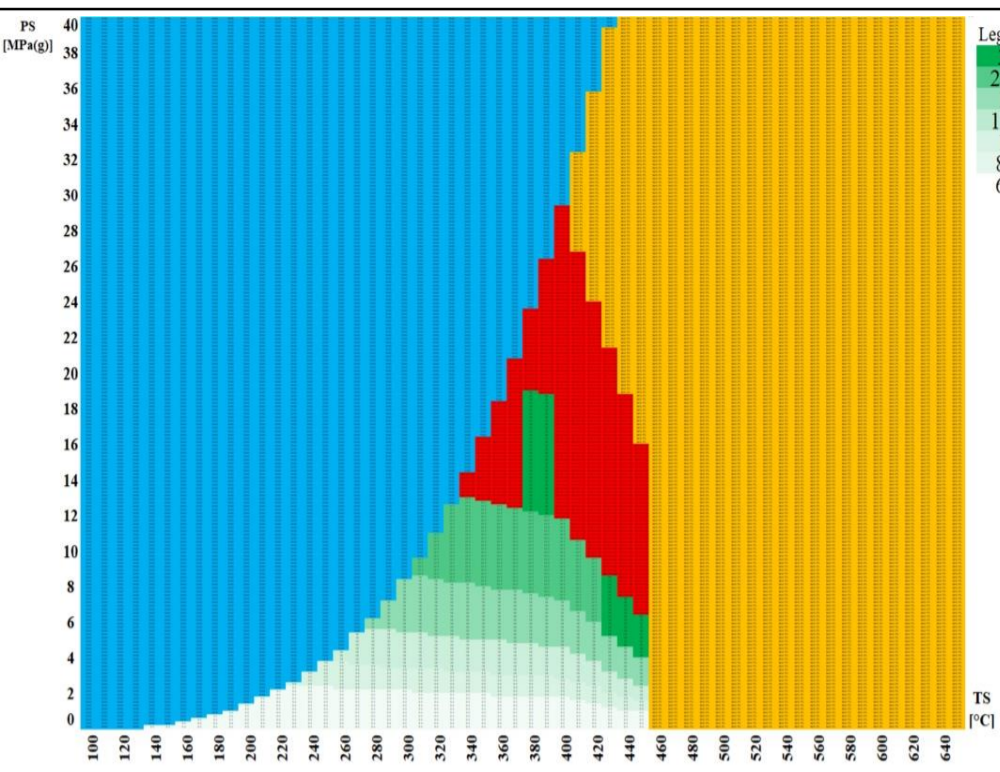
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



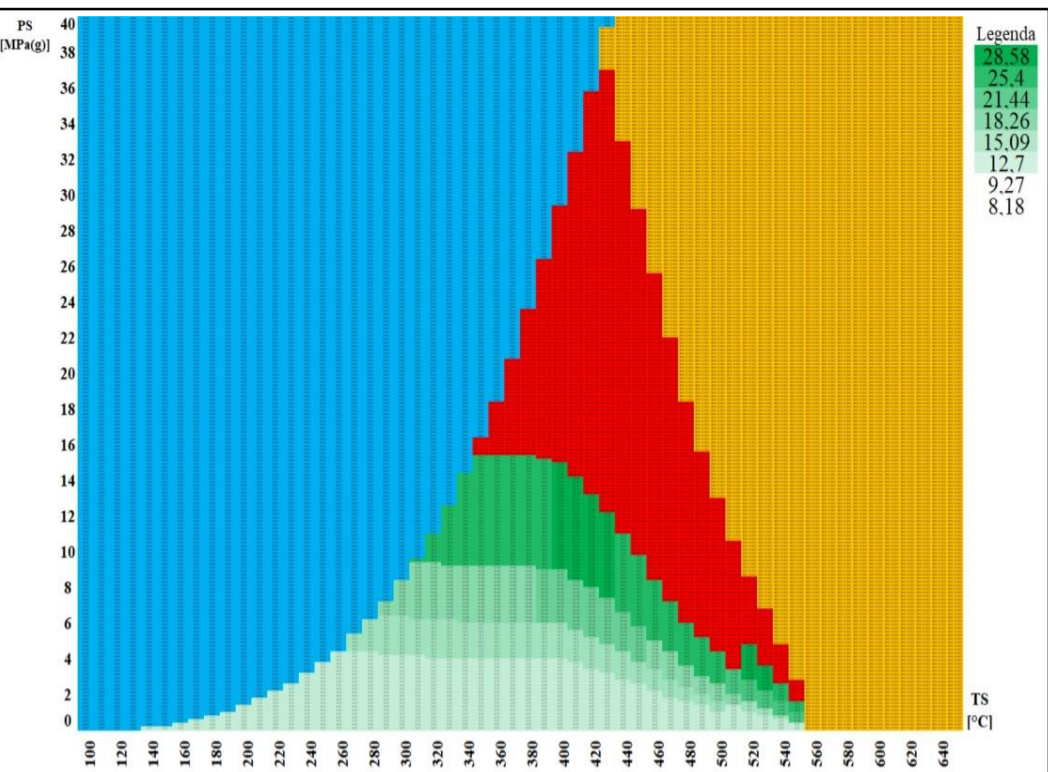
**P235GH**



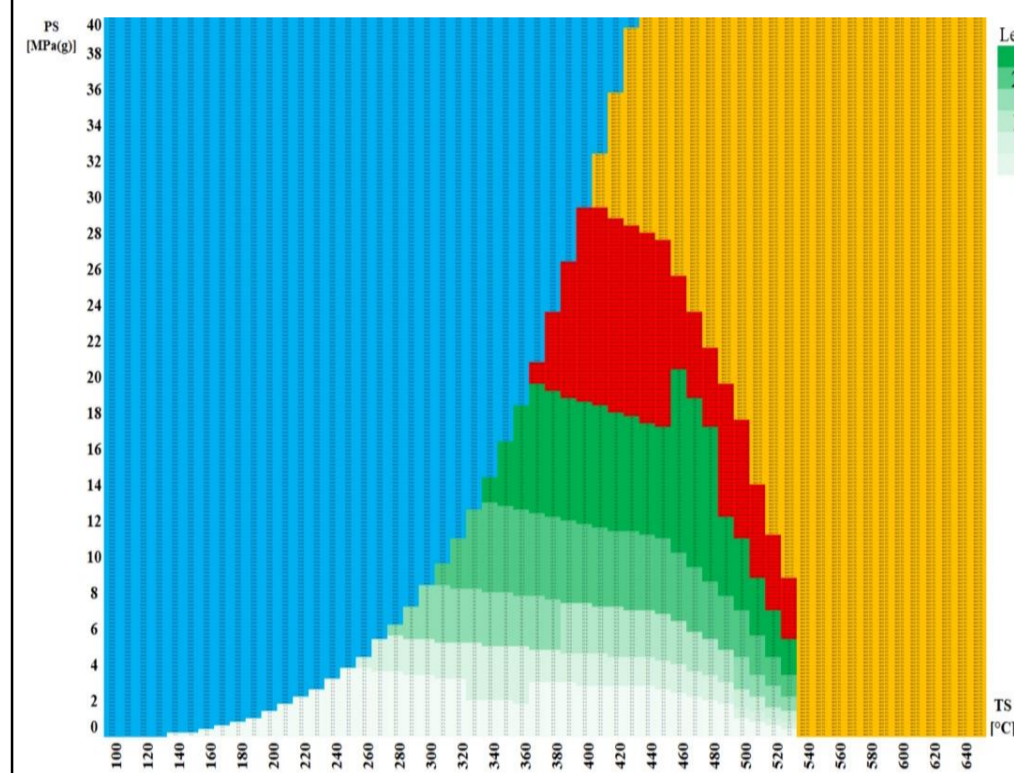
**A106-A**



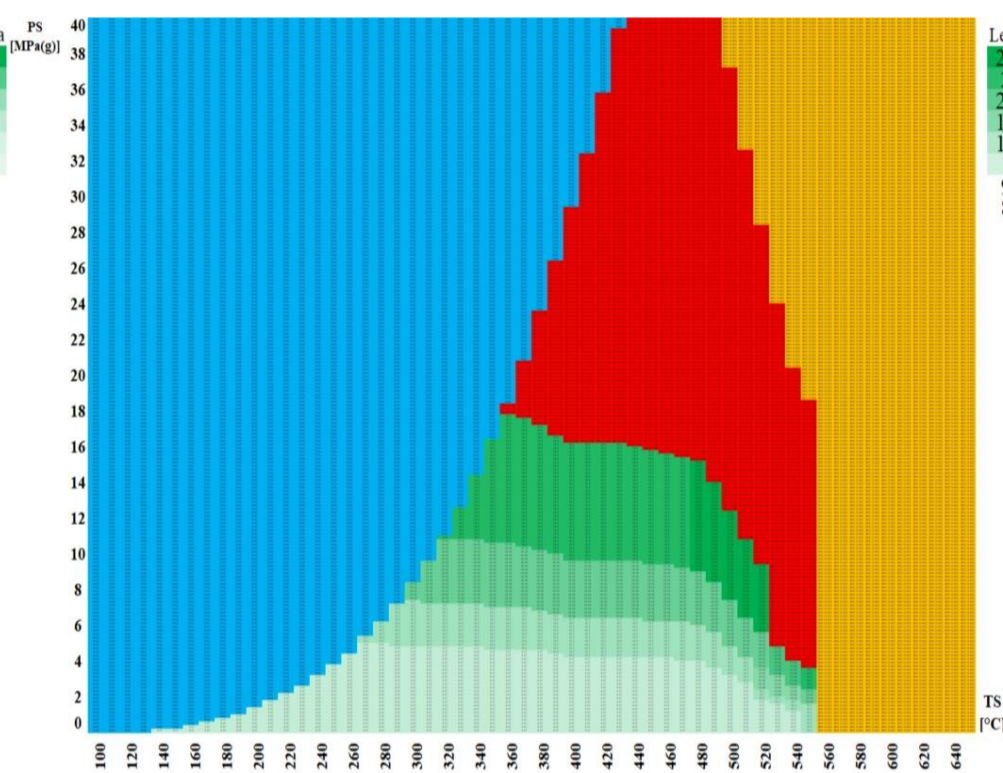
**P265GH**



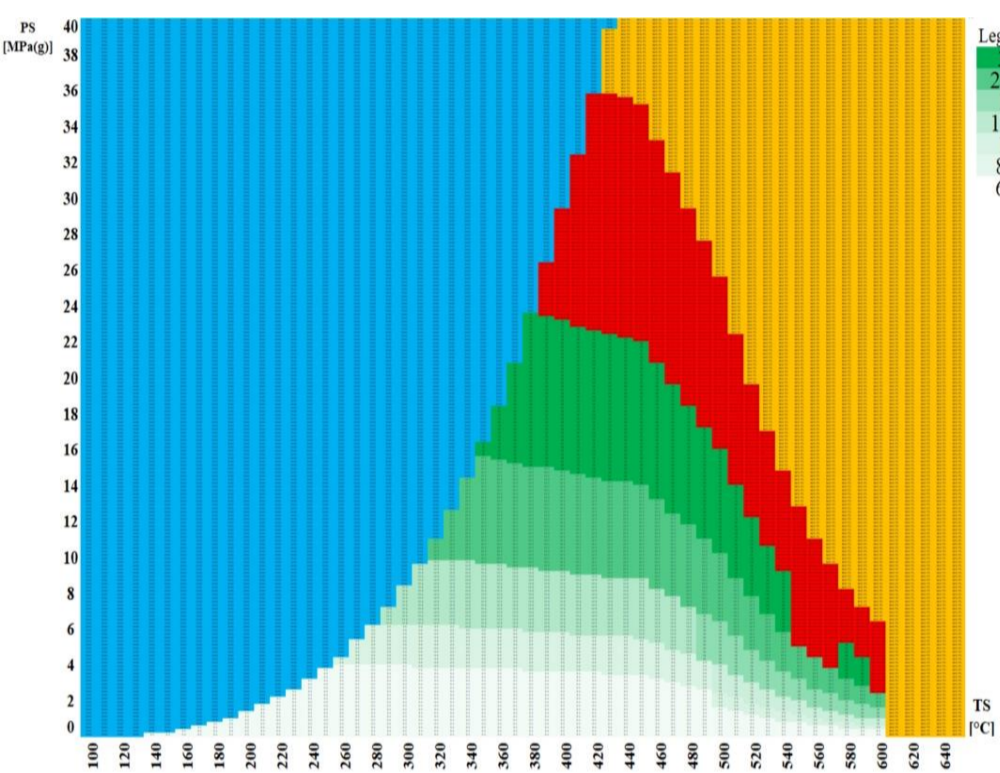
**A106-B**



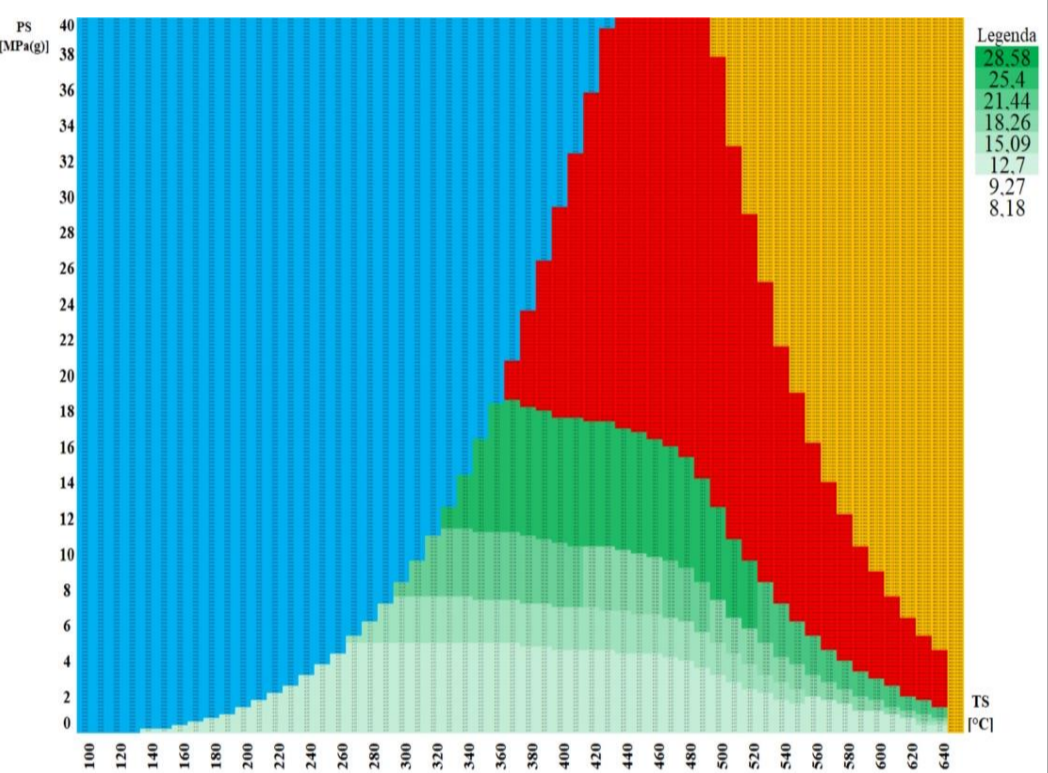
**16Mo3**



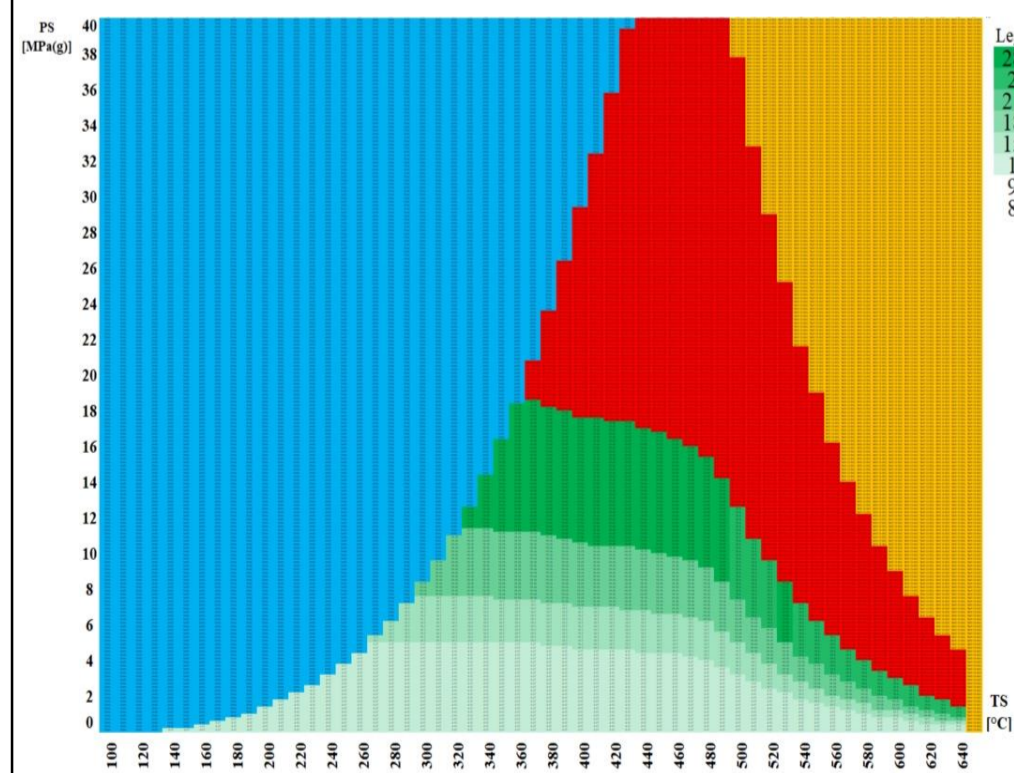
**A335-P1**



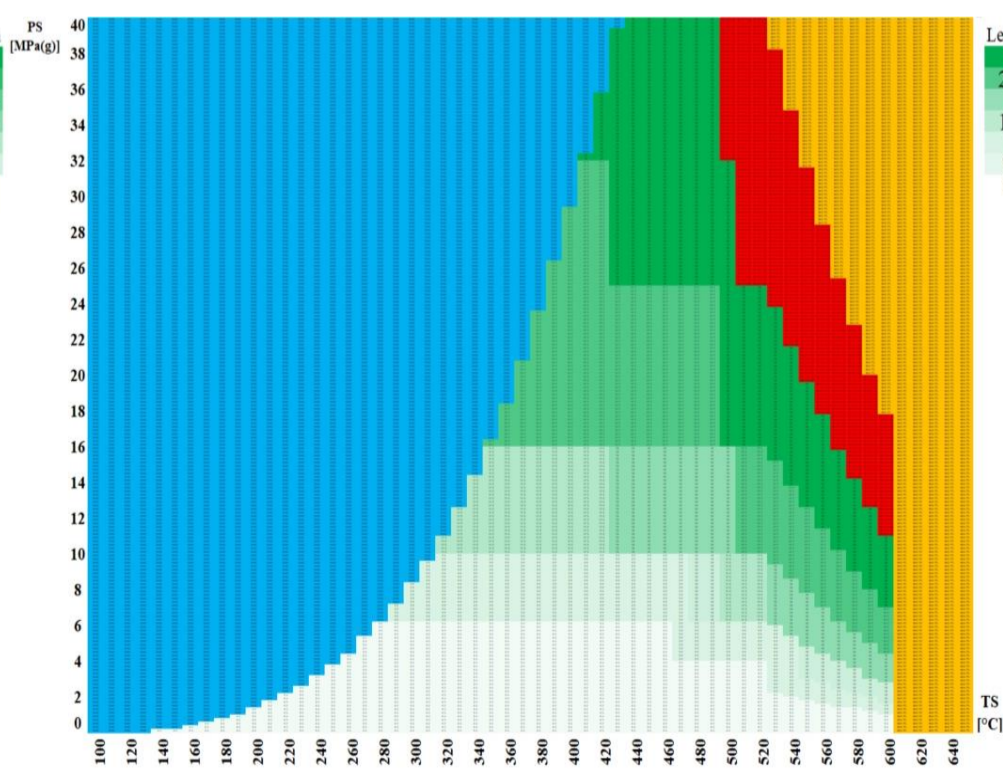
**10CrMo9-10**



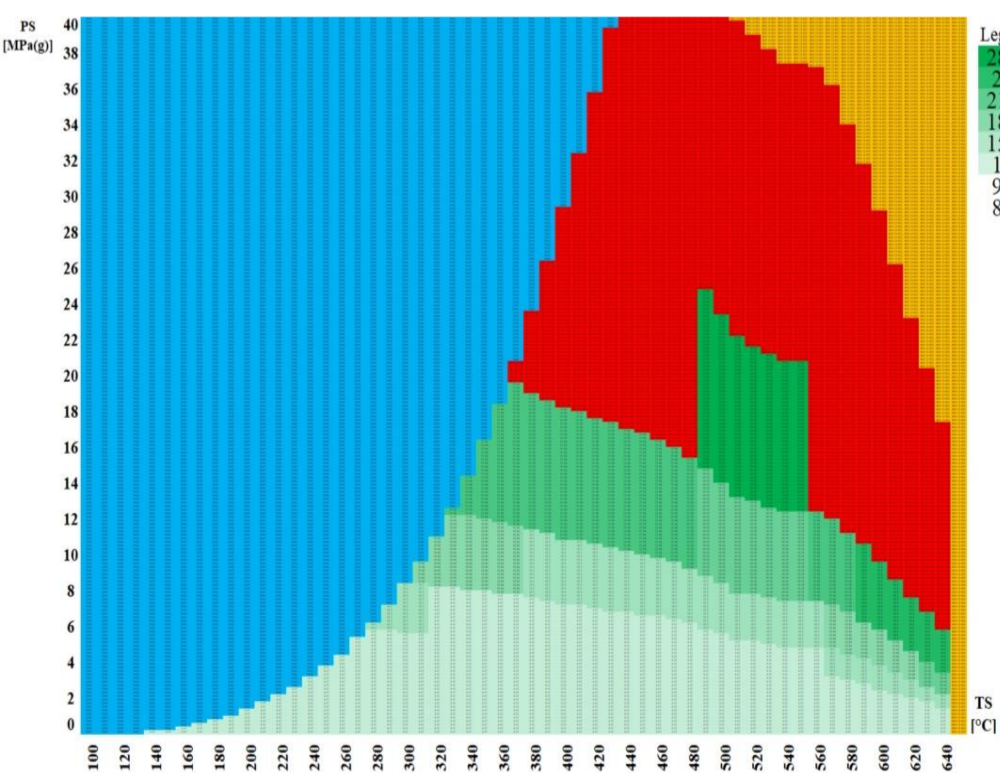
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

*DN 250 – Vypočítaná  
tloušťka stěny  
přímého potrubí  
[mm]*

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

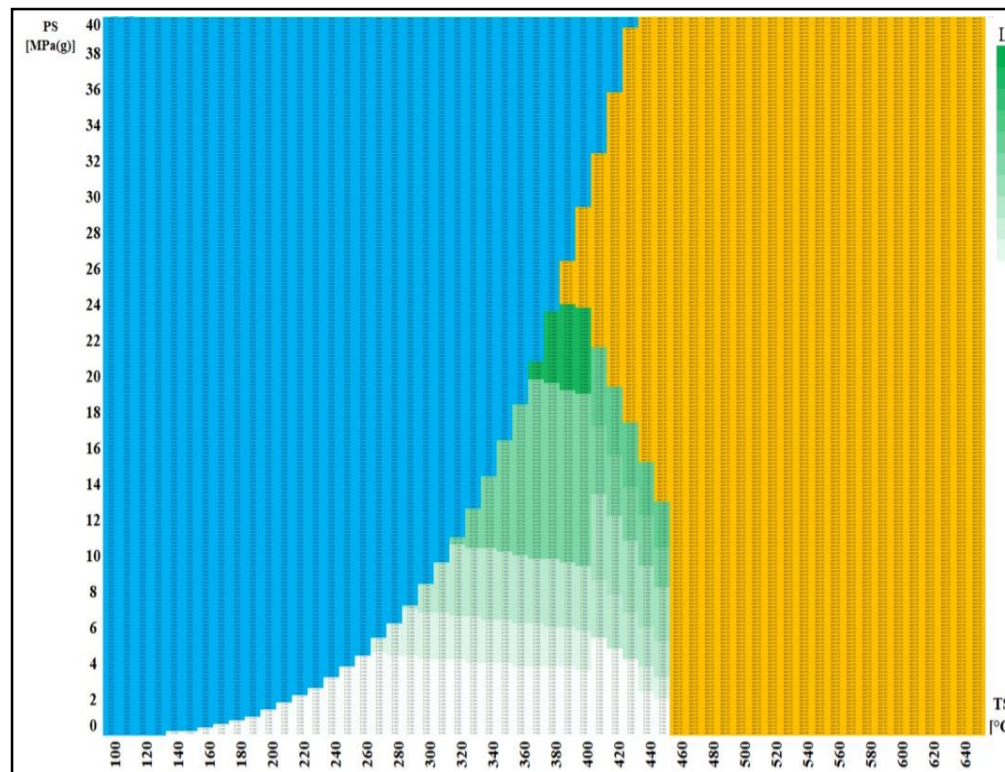
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

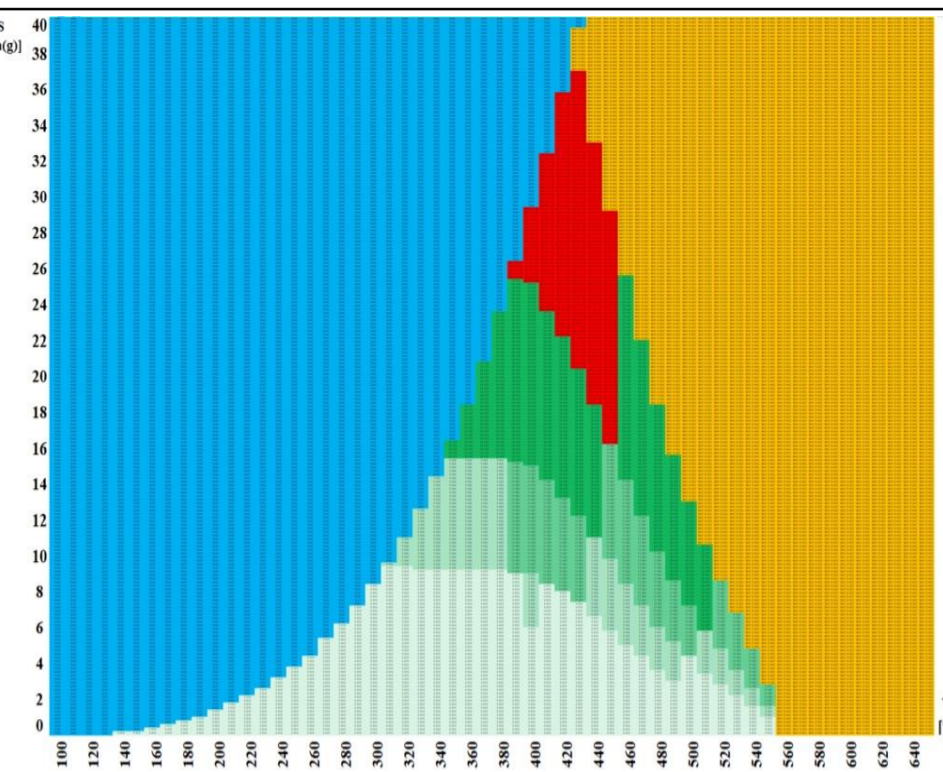
## **Příloha 2.3**

-

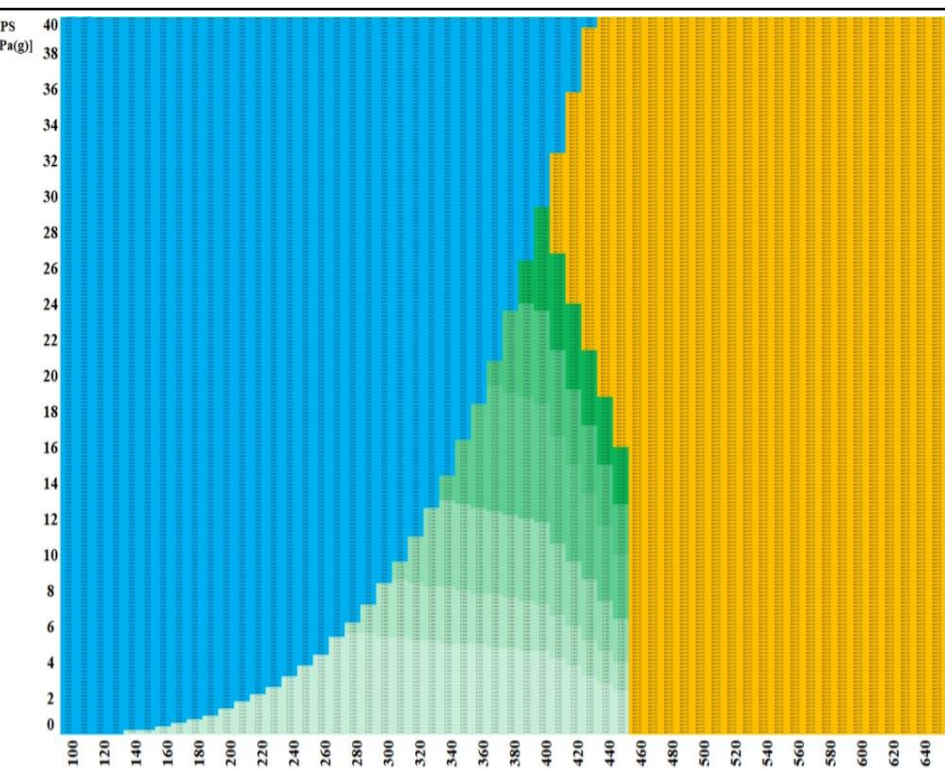
**Cena za 1 metr přímého potrubí podle parametrů páry**



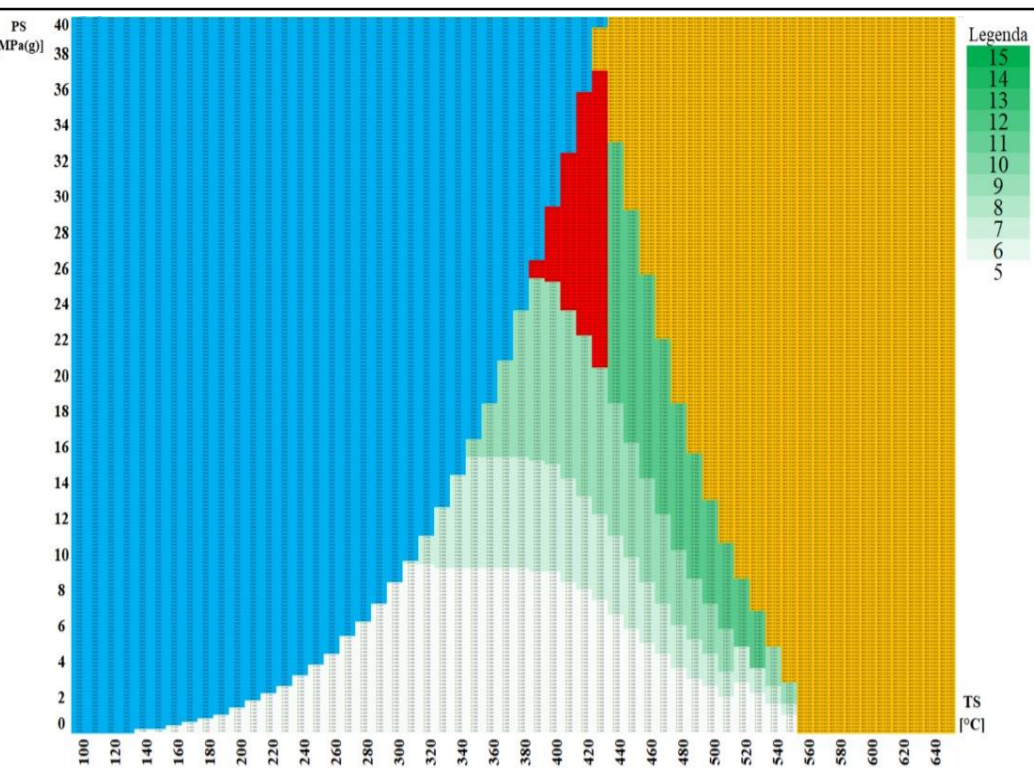
**P235GH**



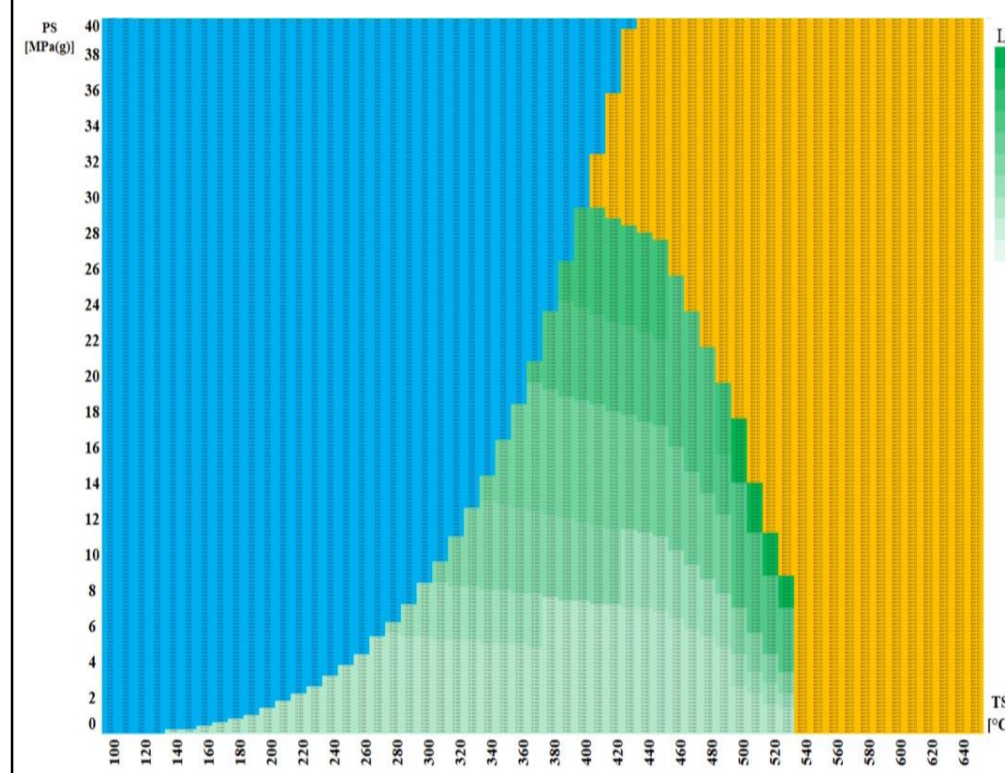
**A106-A**



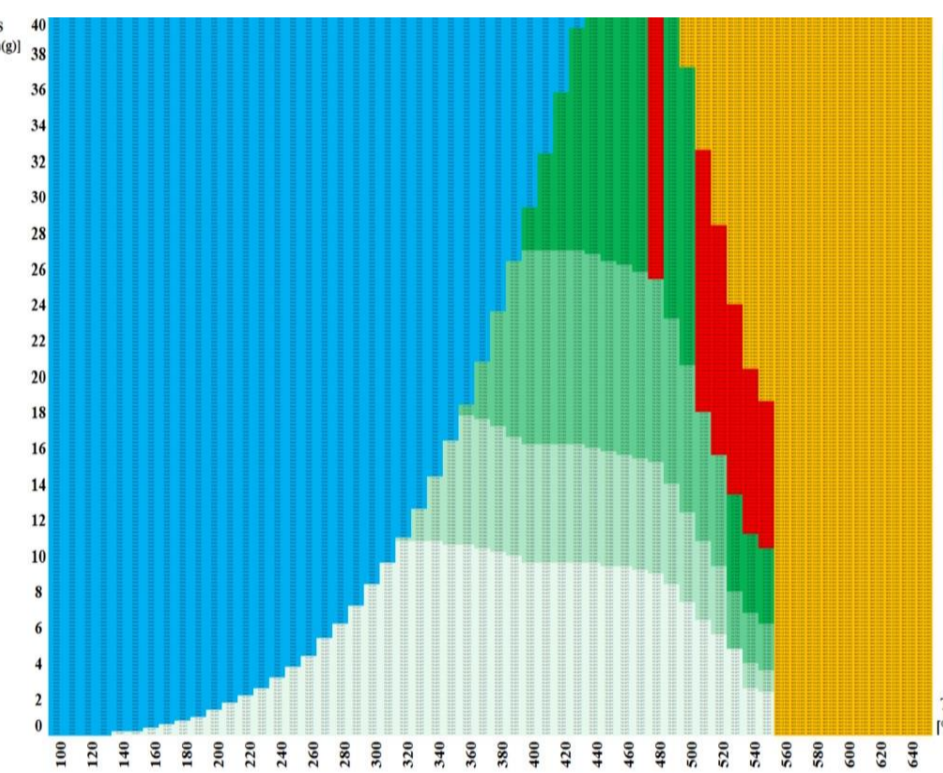
**P265GH**



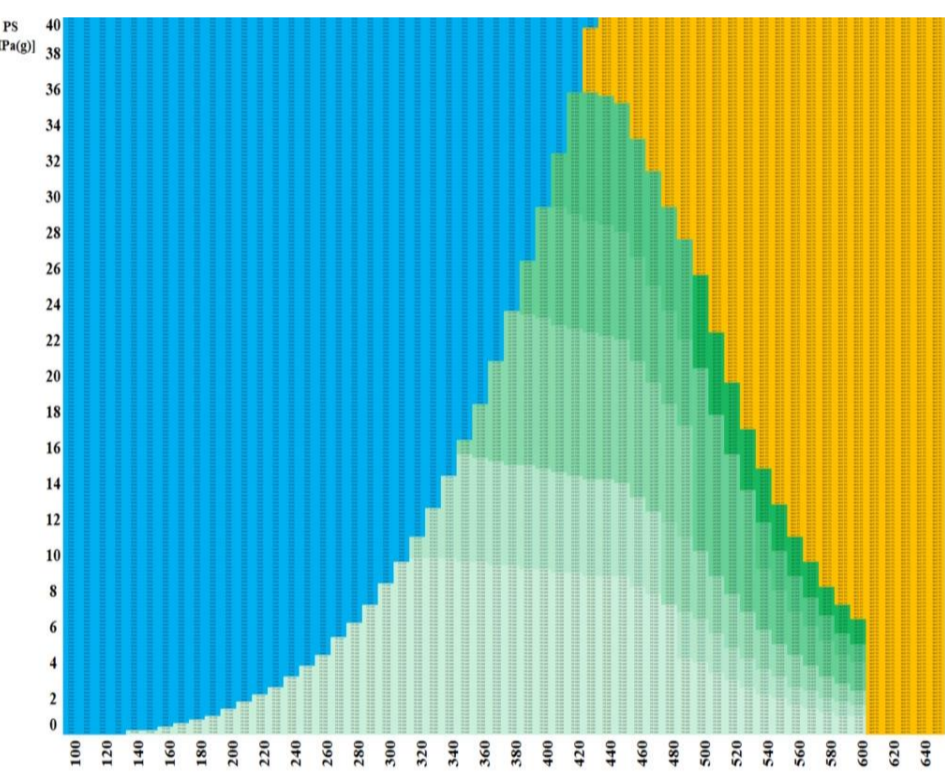
**A106-B**



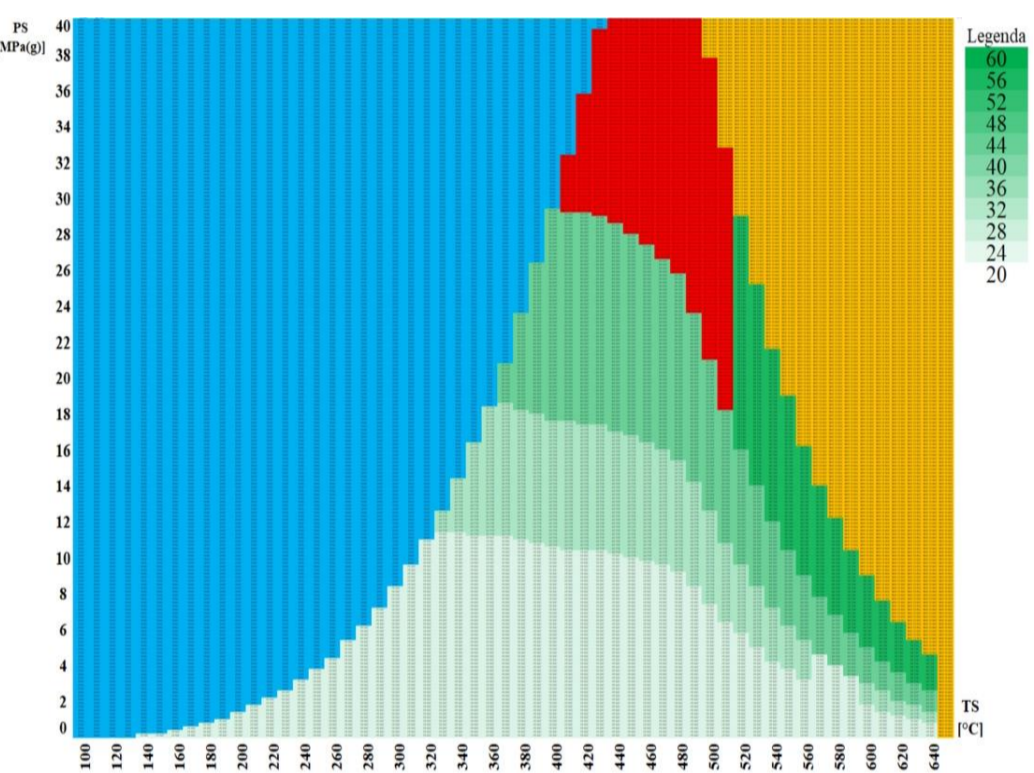
**16Mo3**



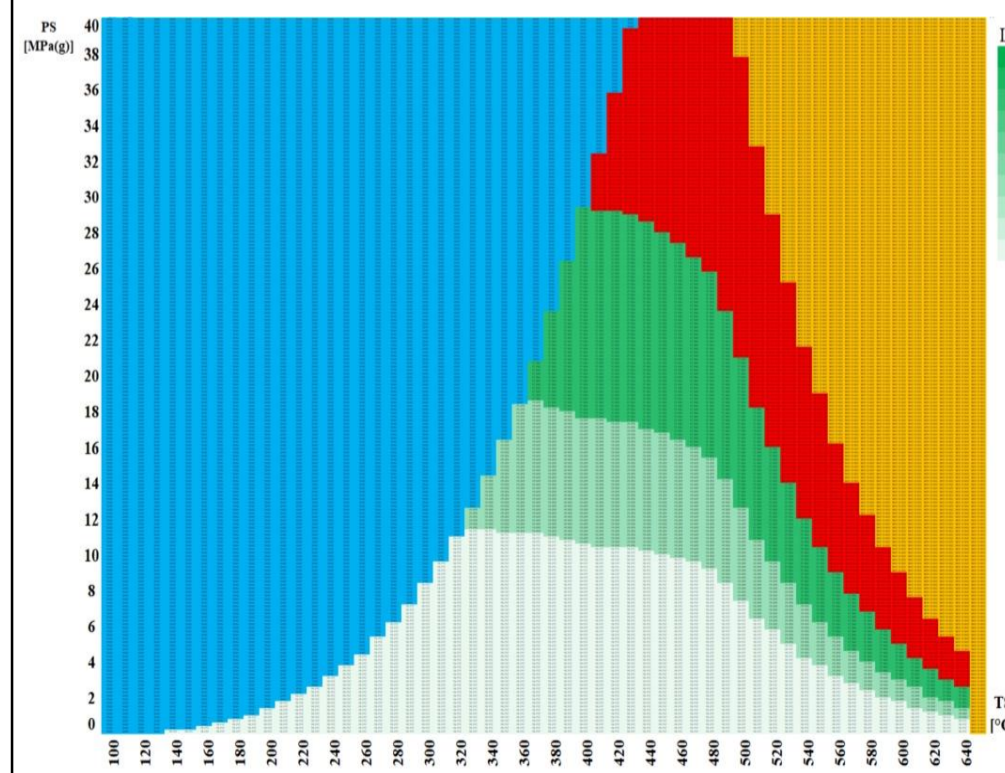
**A335-P1**



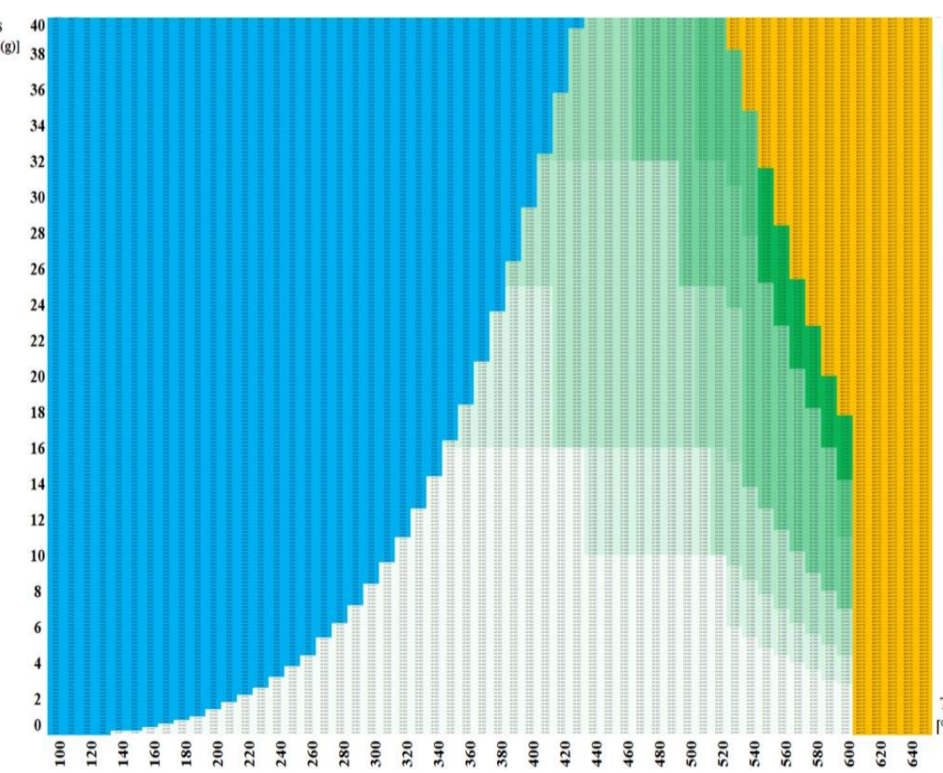
**10CrMo9-10**



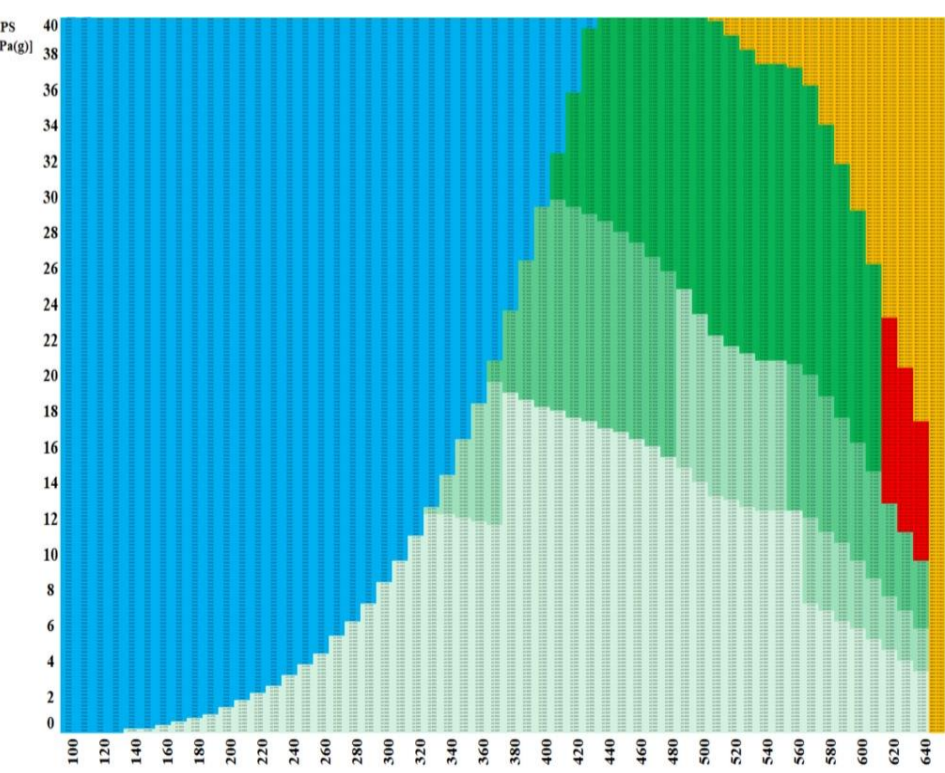
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



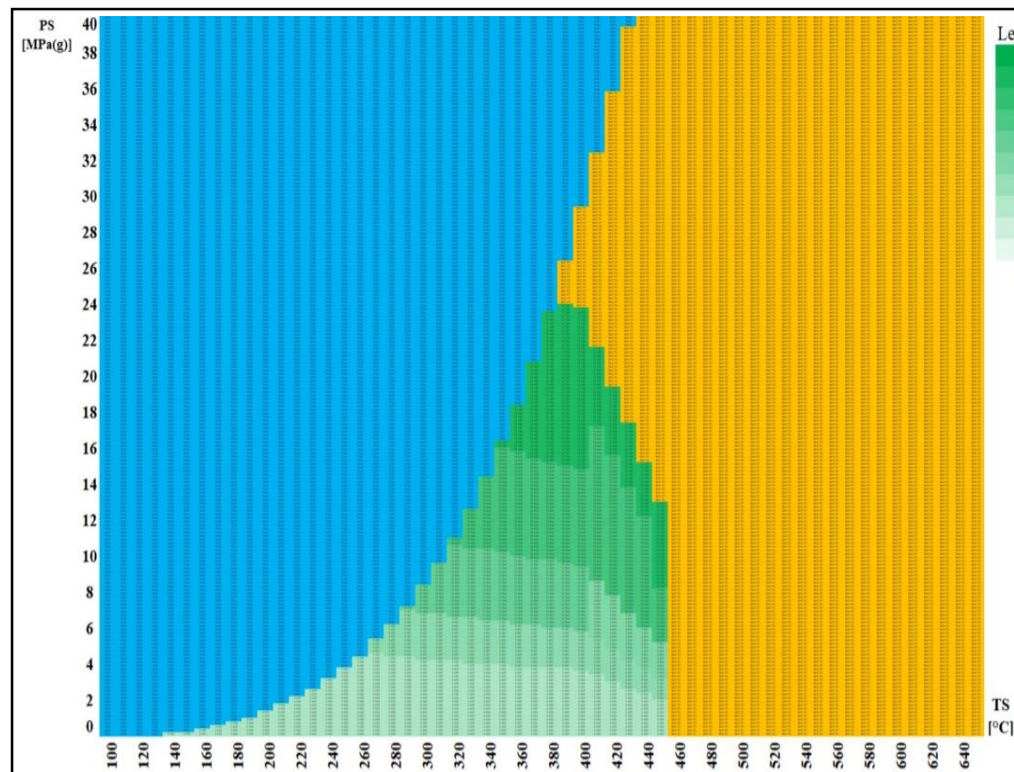
**A335 - P91**

***DN 25 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

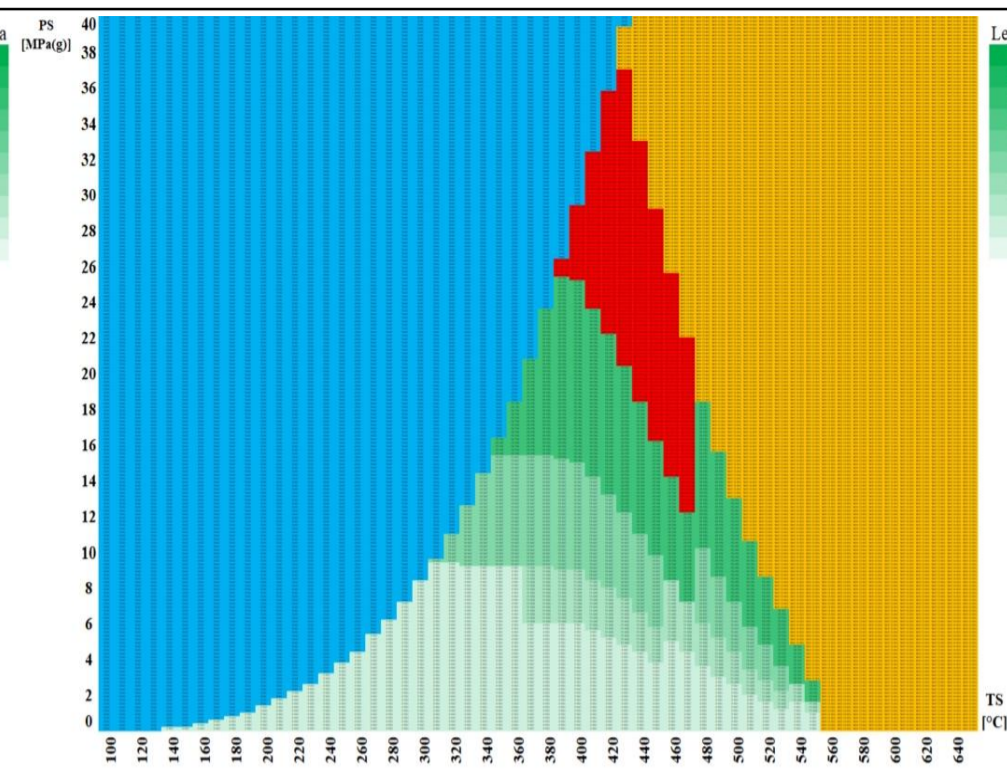
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

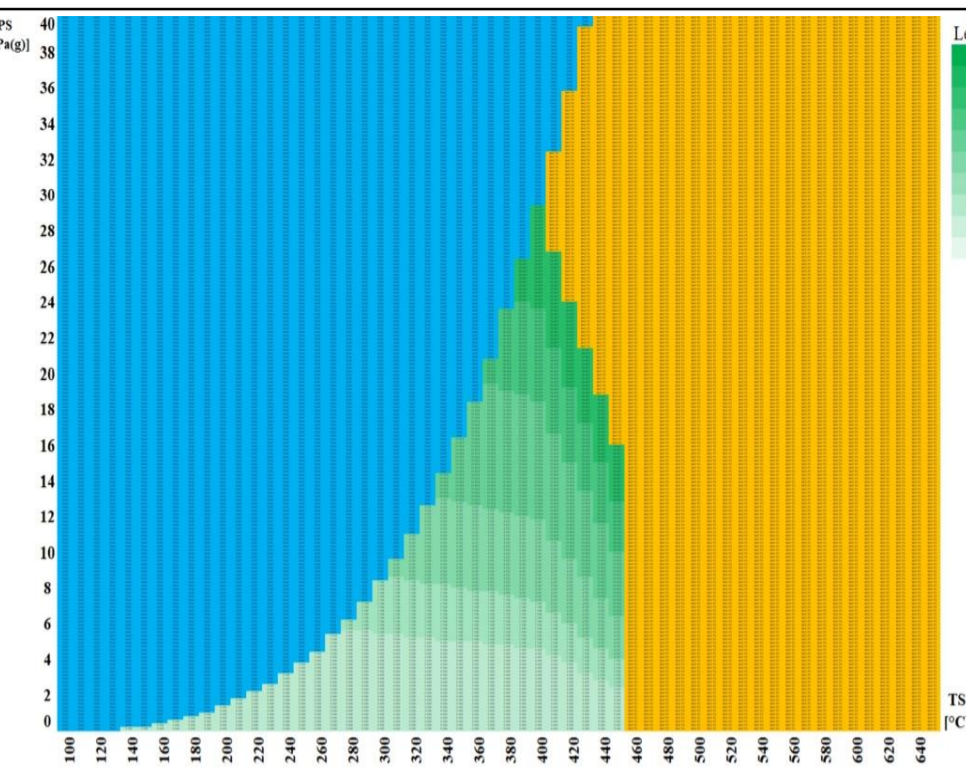
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



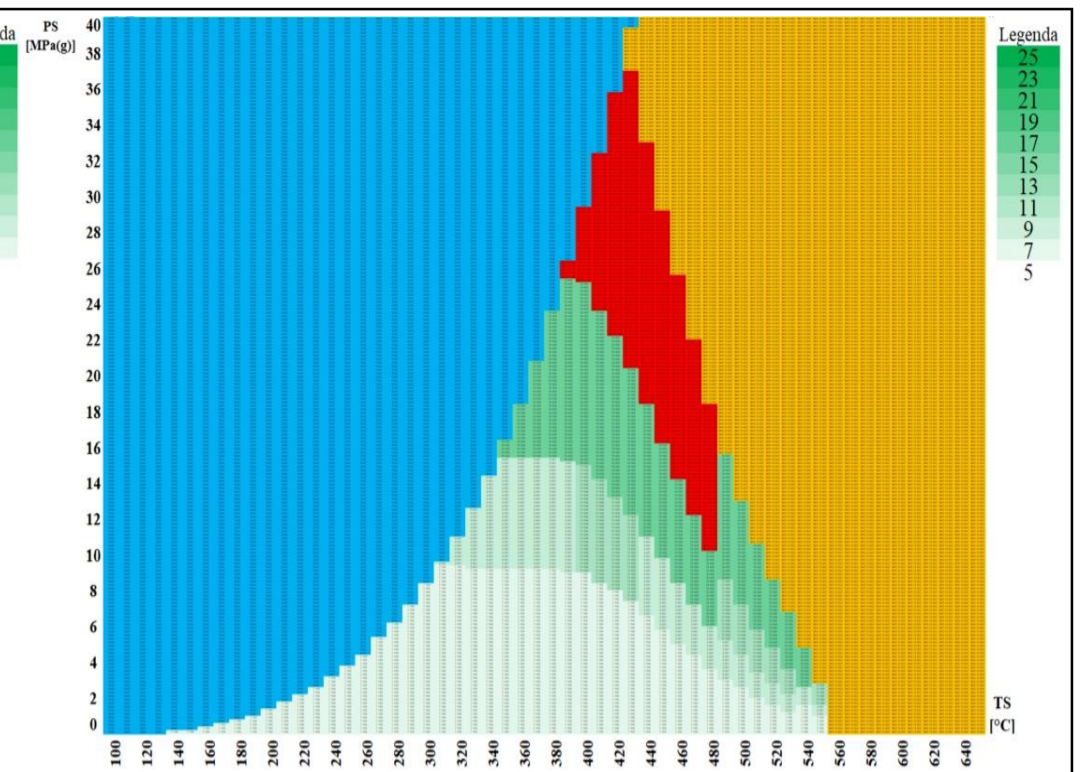
**P235GH**



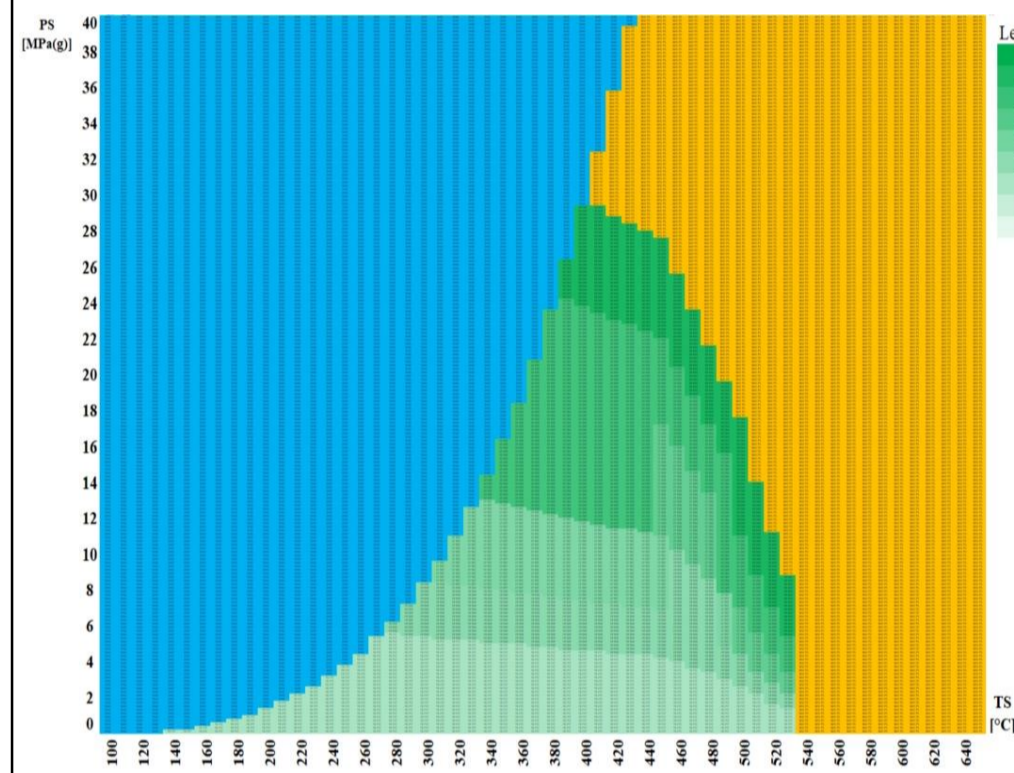
**A106-A**



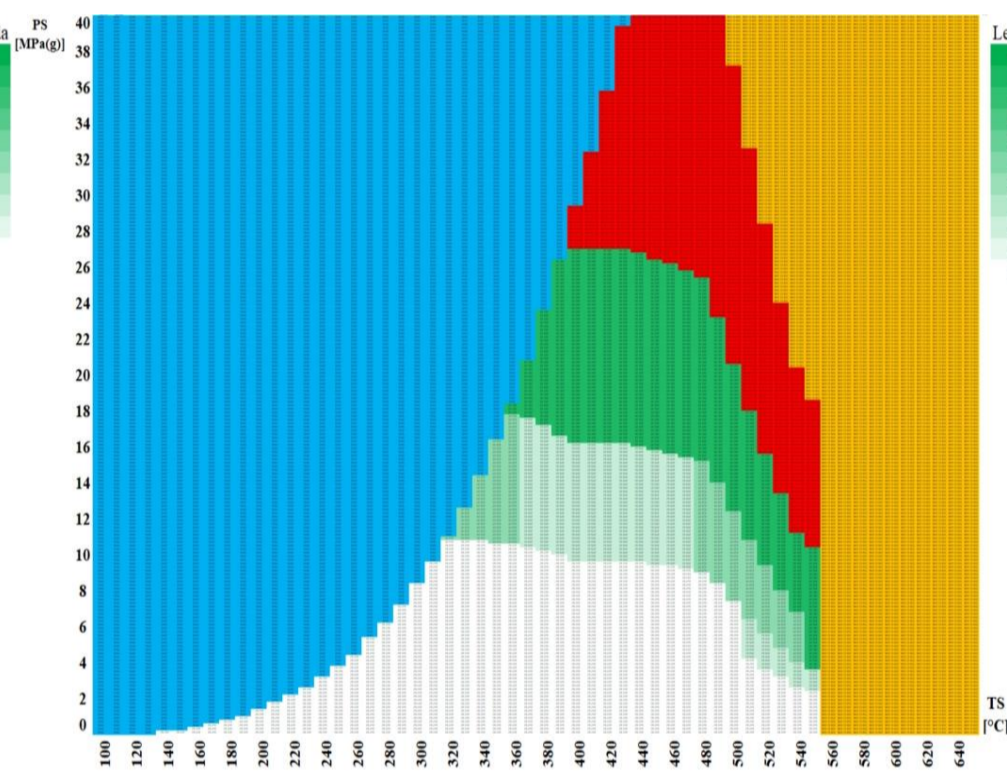
**P265GH**



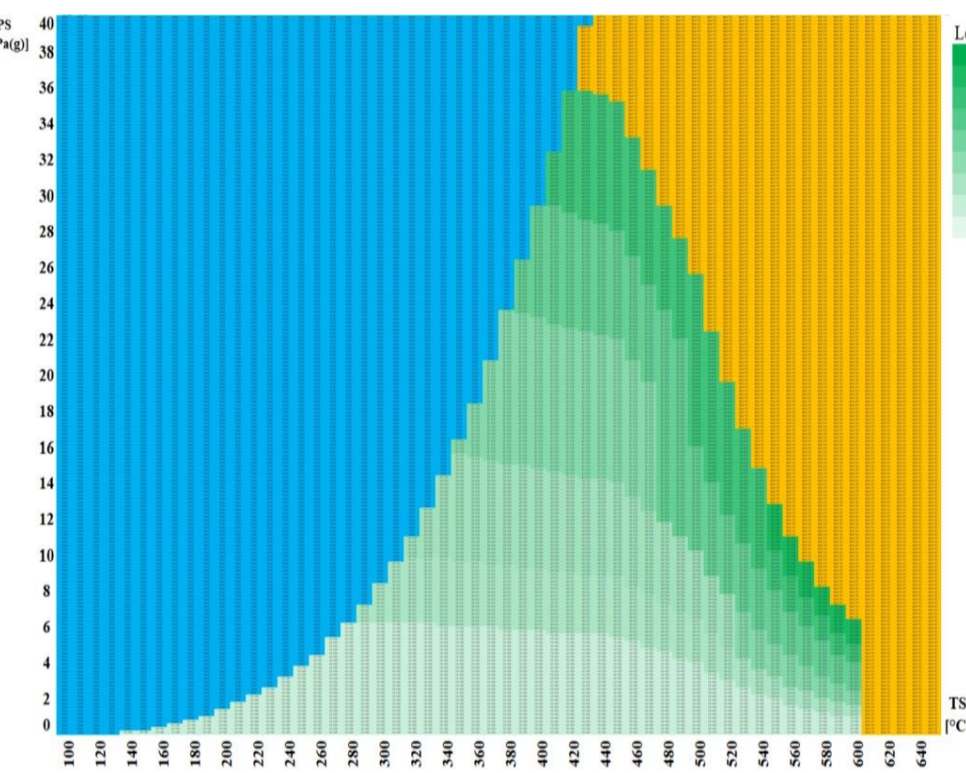
**A106-B**



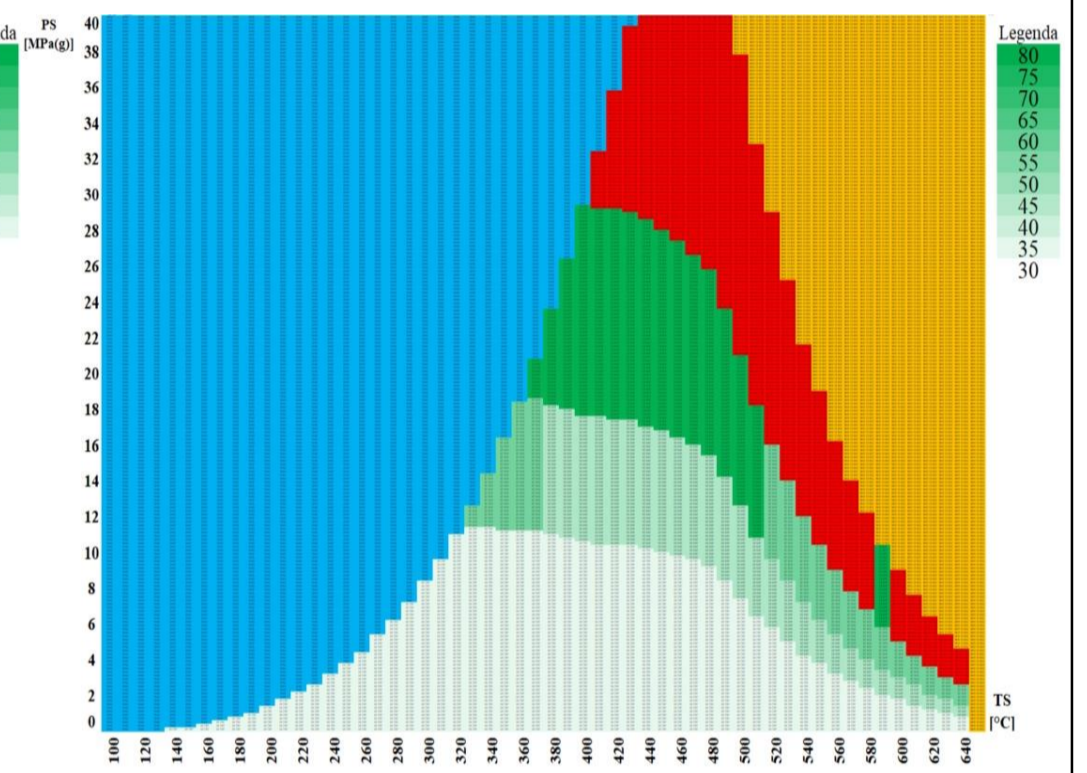
**16Mo3**



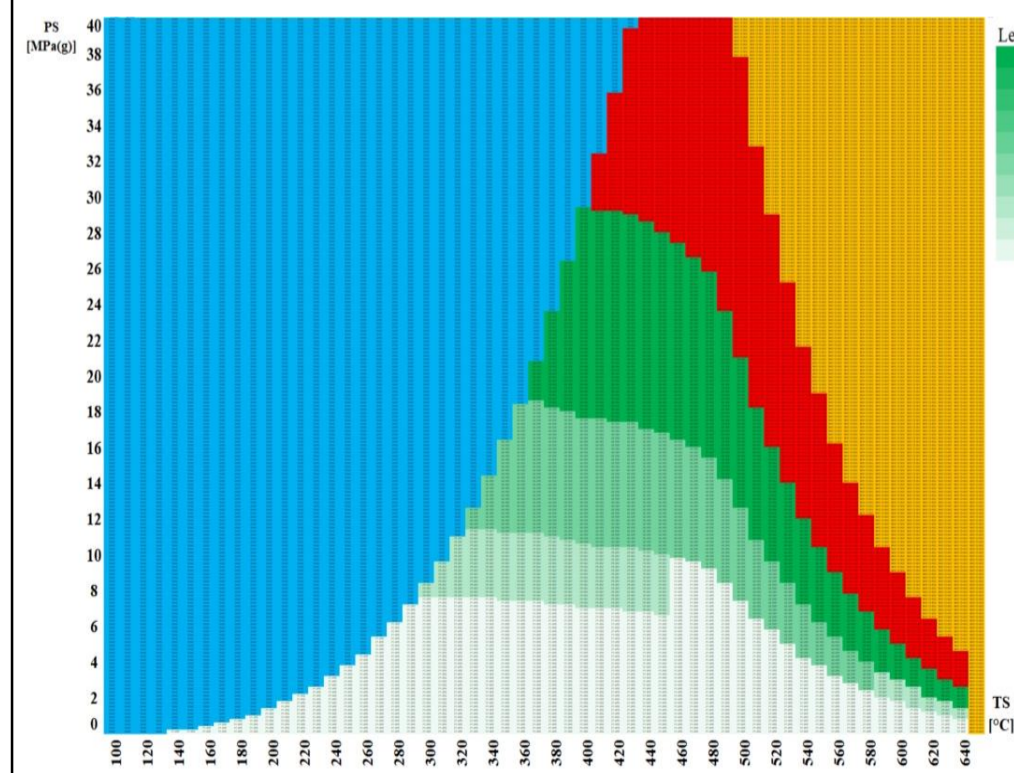
**A335-P1**



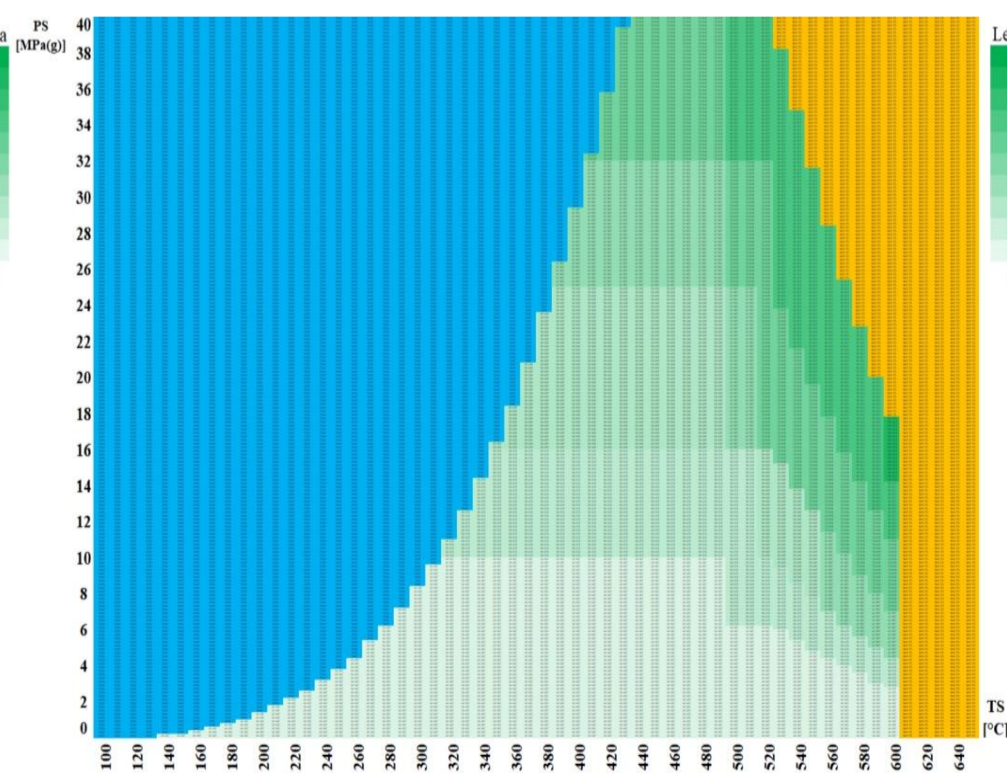
**10CrMo9-10**



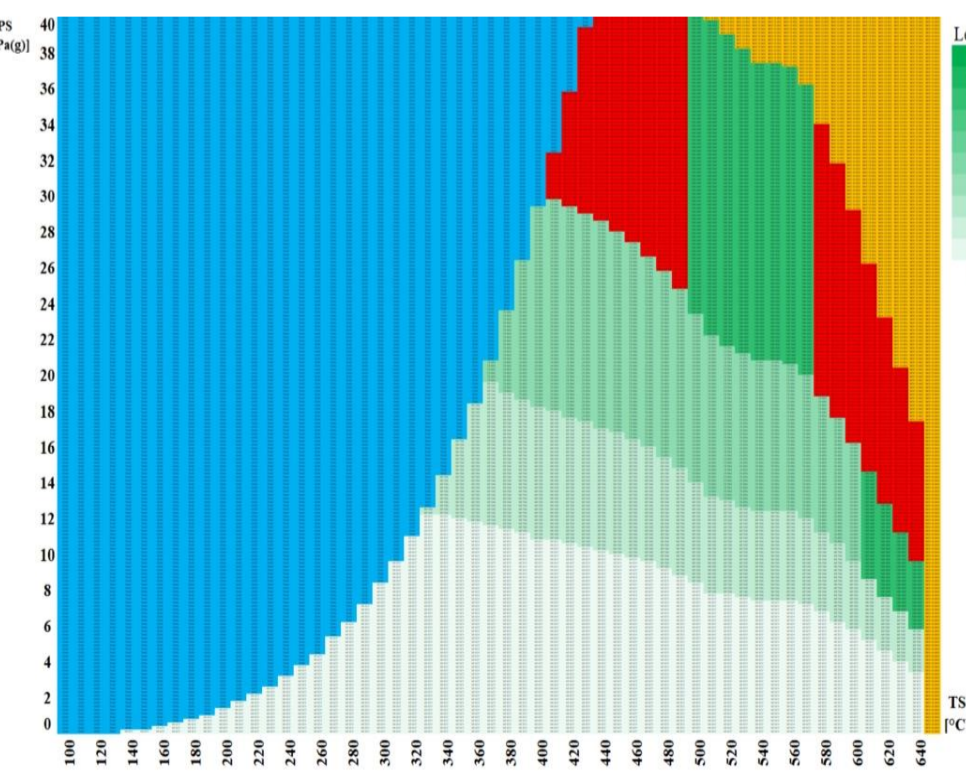
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

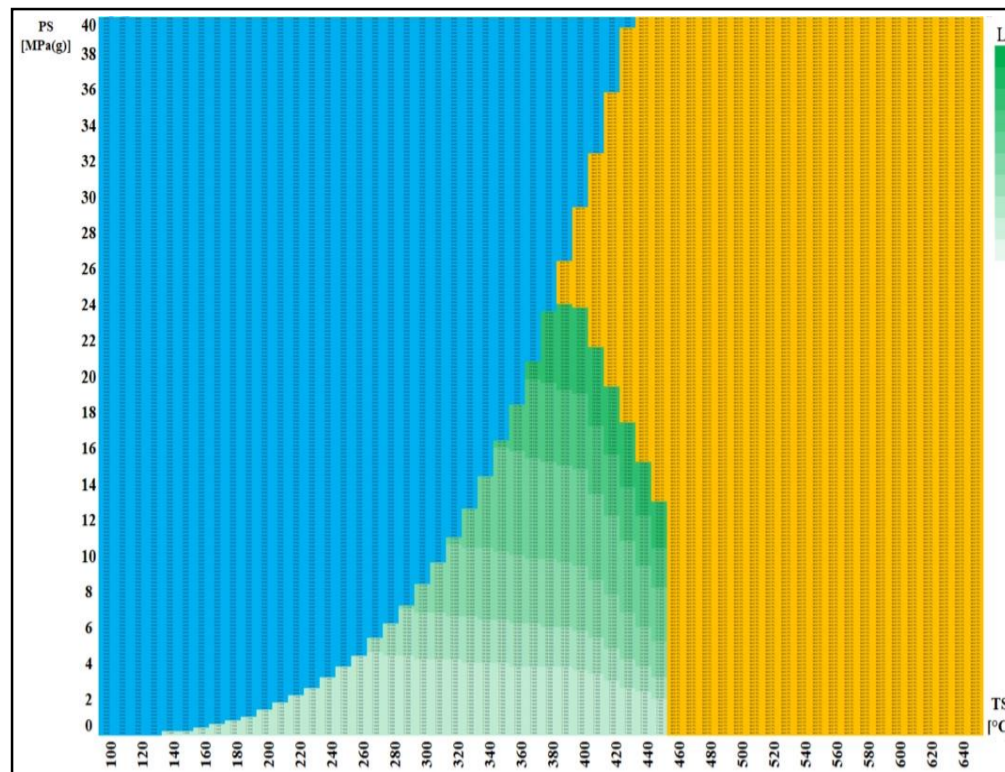
***DN 32 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

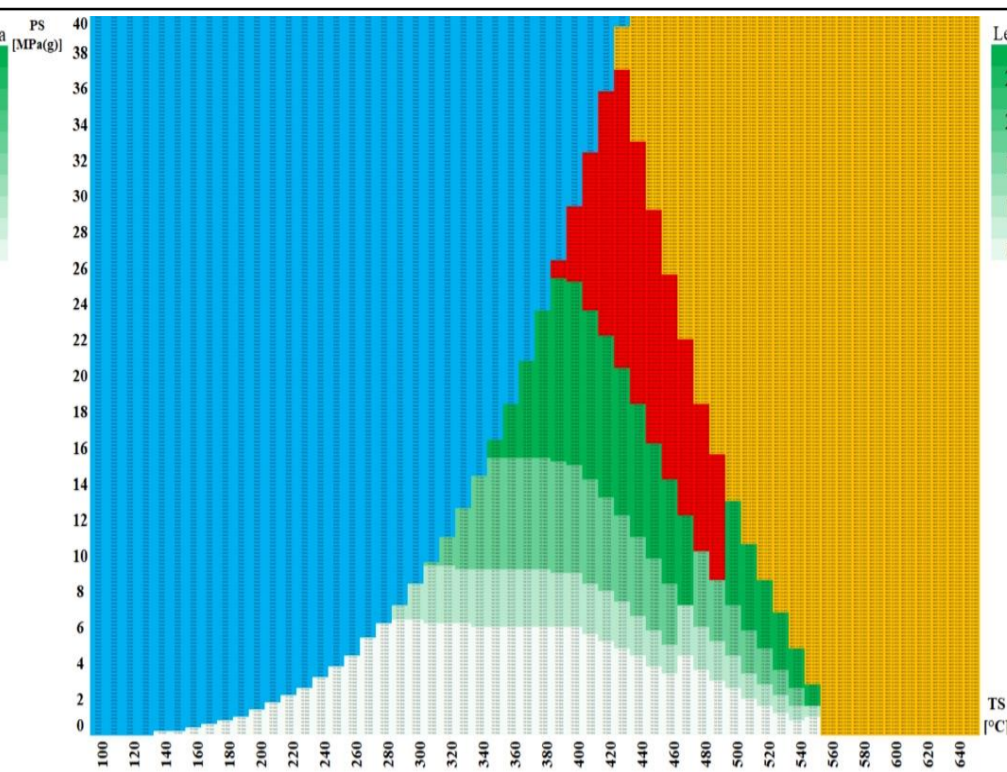
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

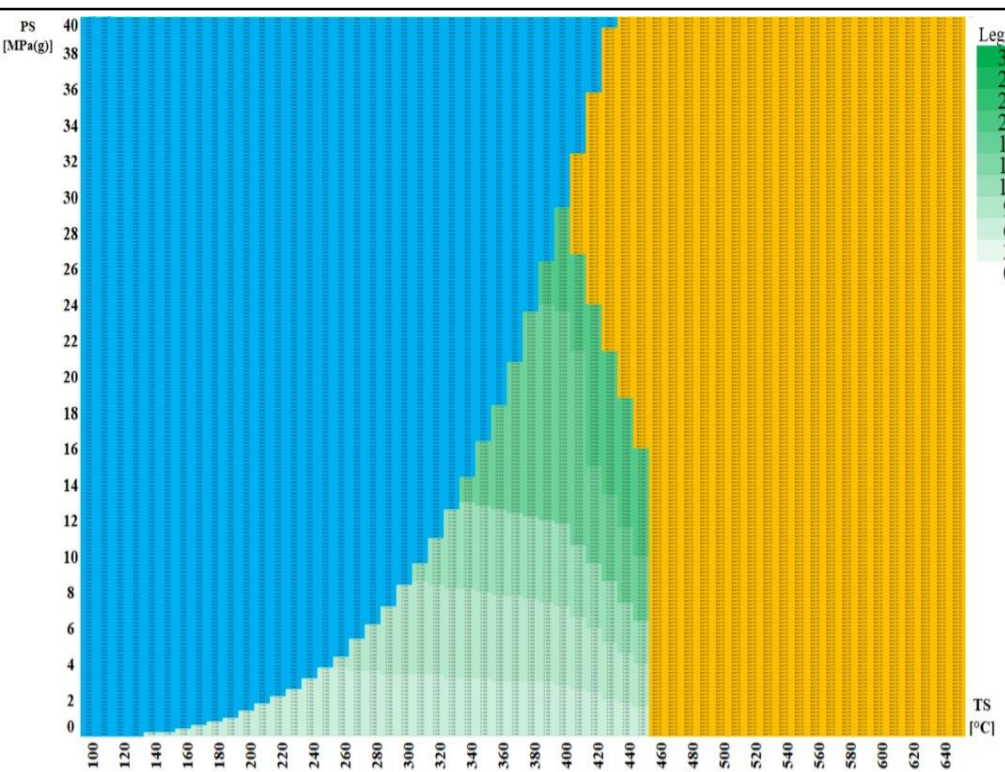




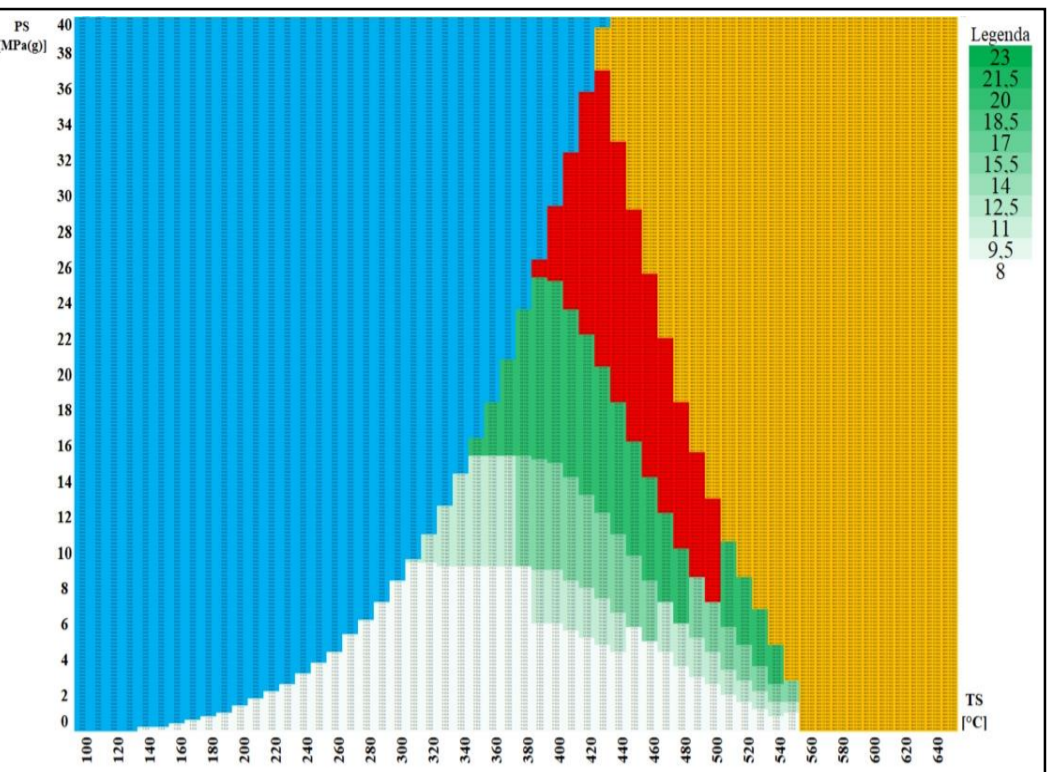
**P235GH**



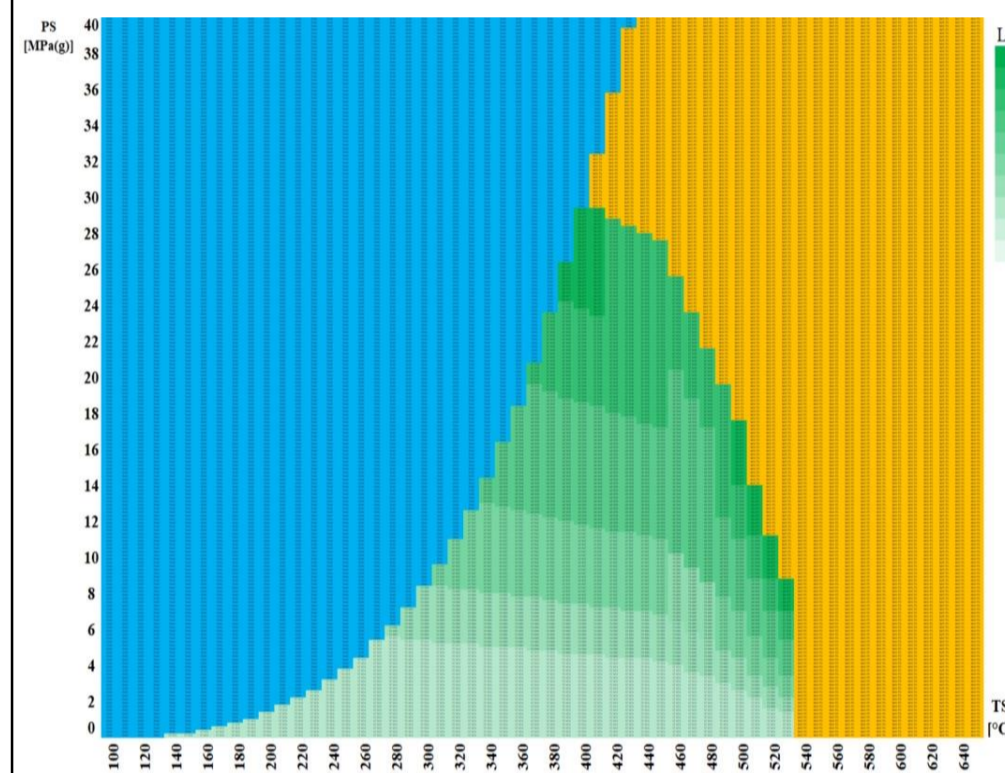
**A106-A**



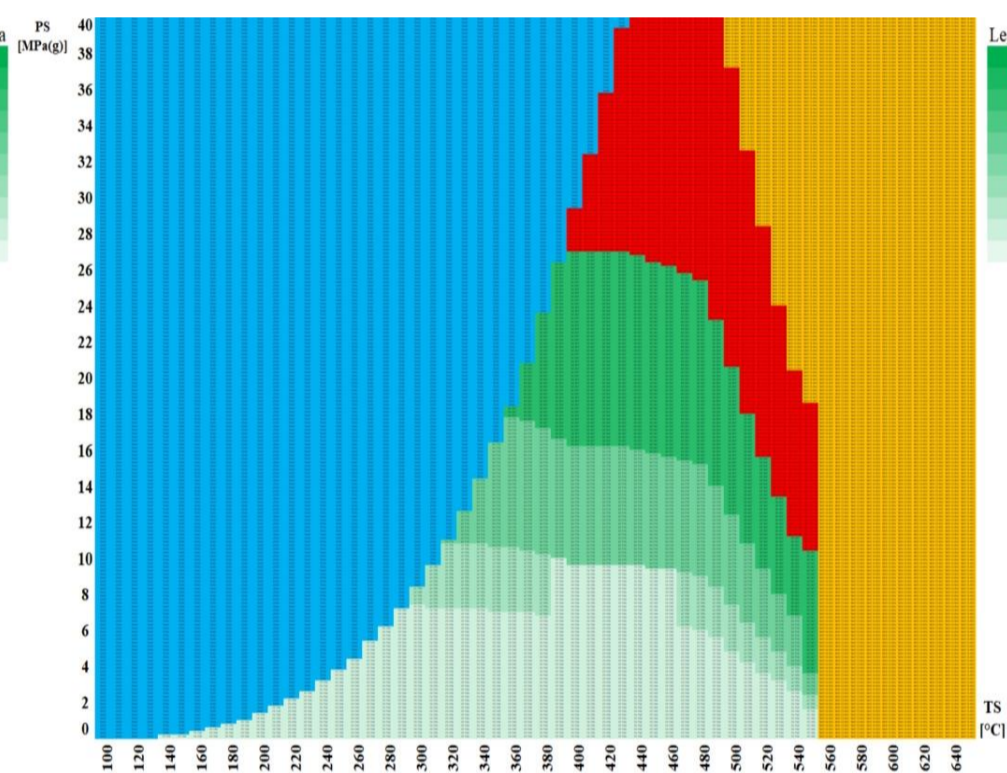
**P265GH**



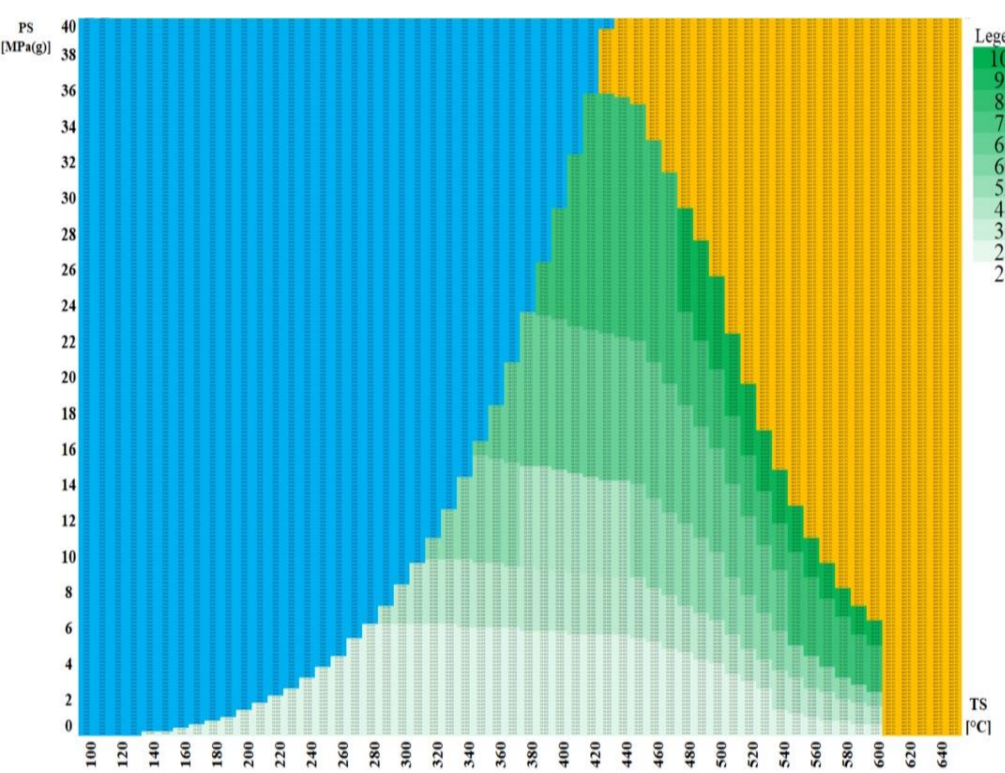
**A106-B**



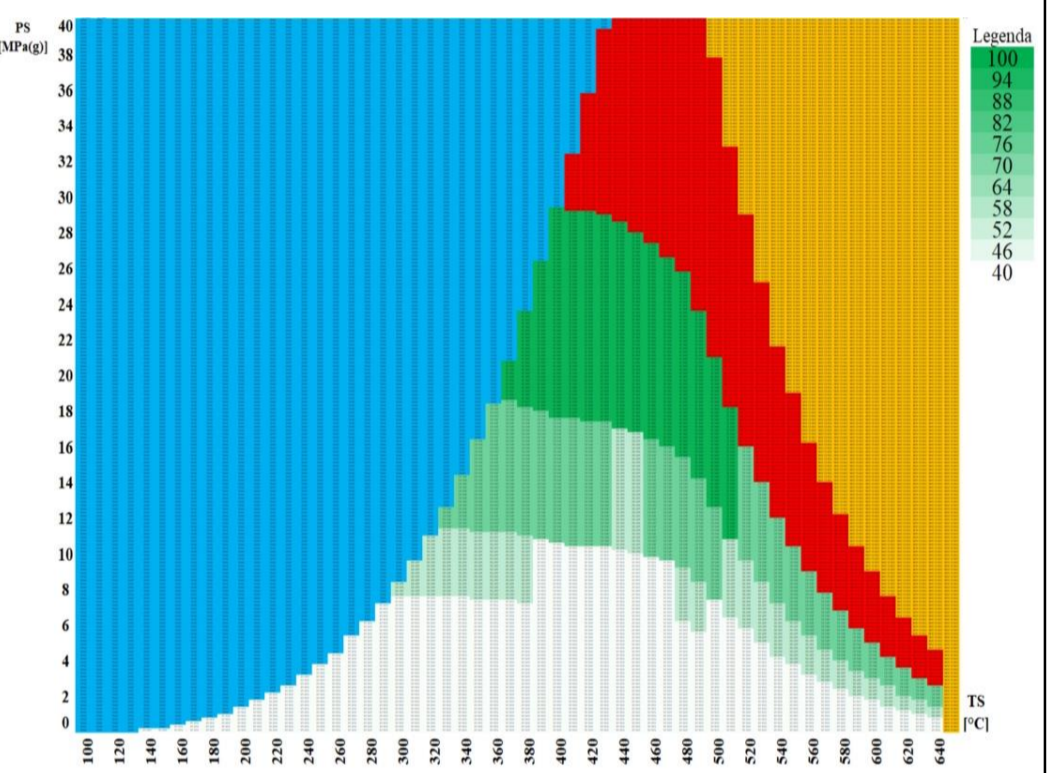
**16Mo3**



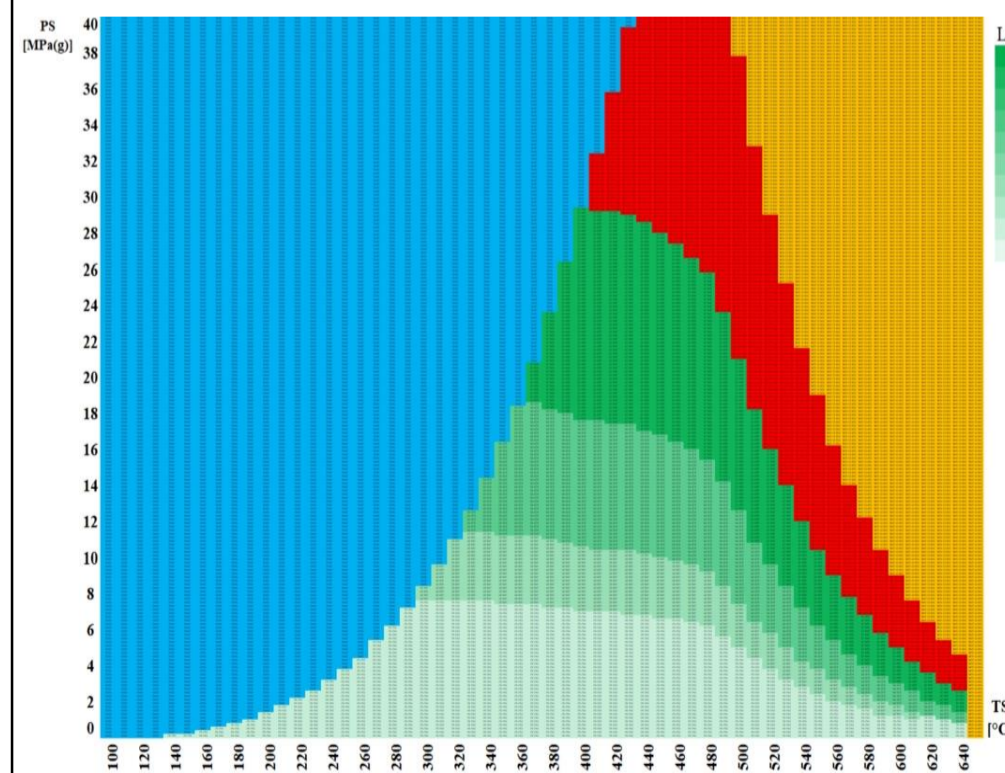
**A335-P1**



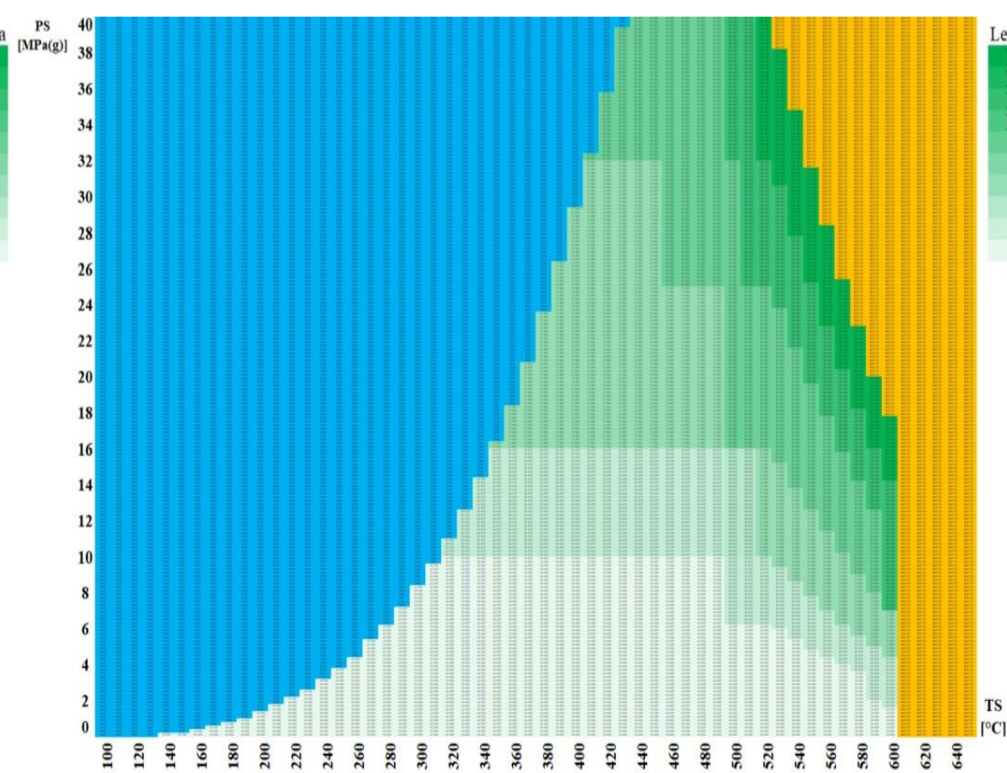
**10CrMo9-10**



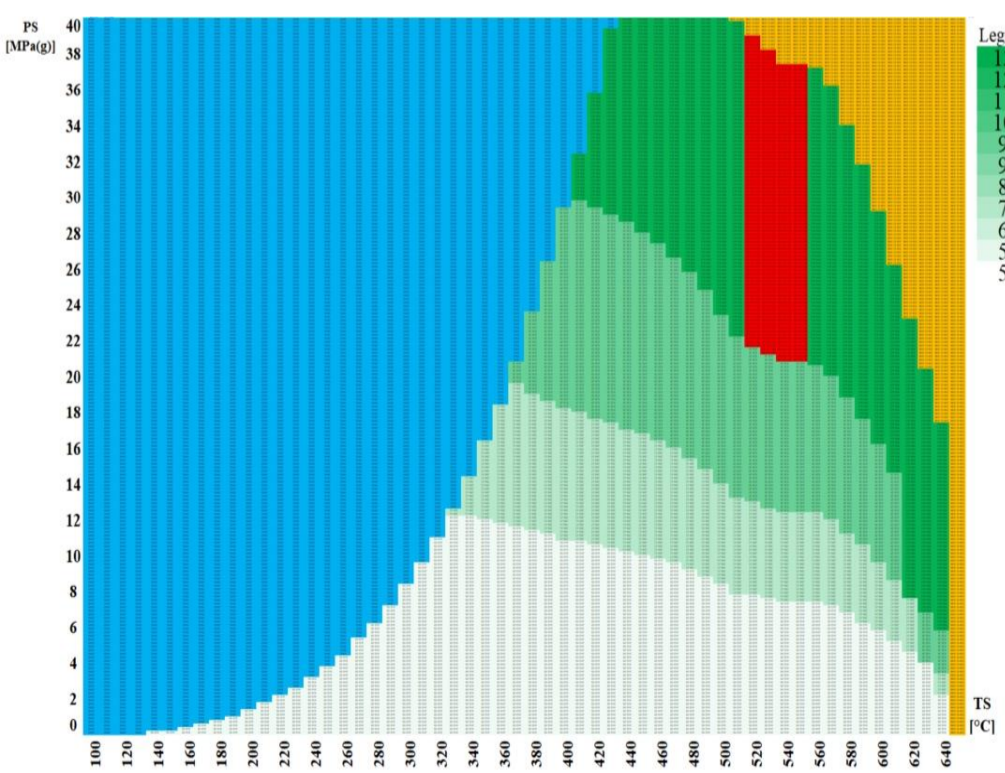
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



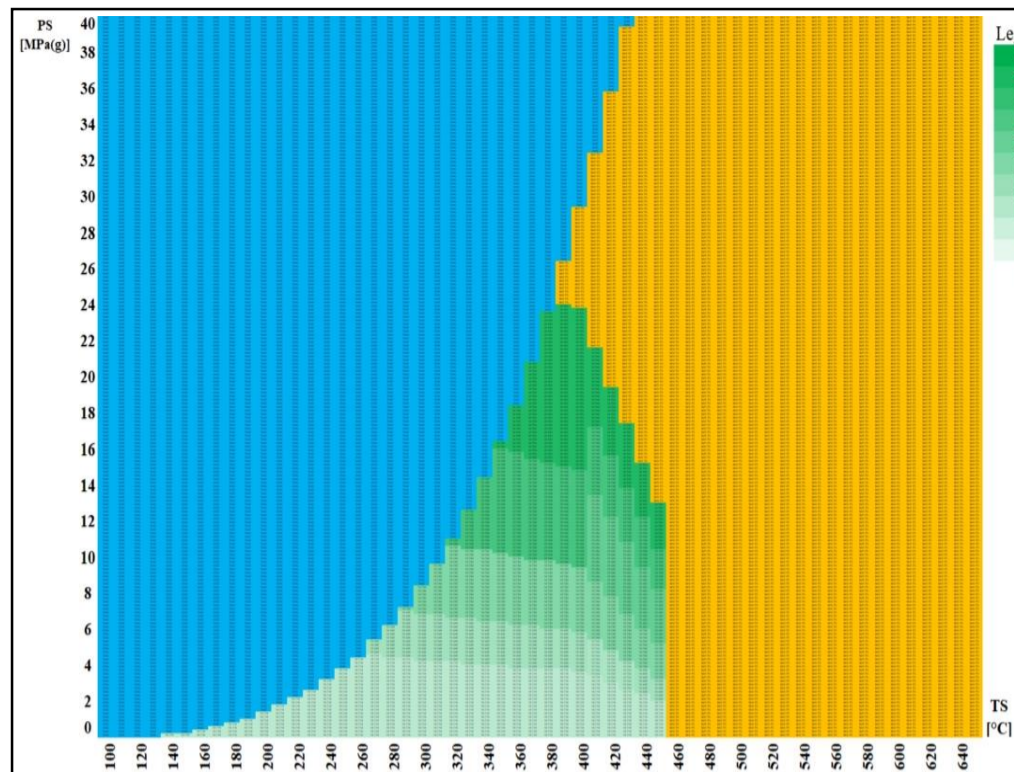
**A335 – P91**

***DN 40 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

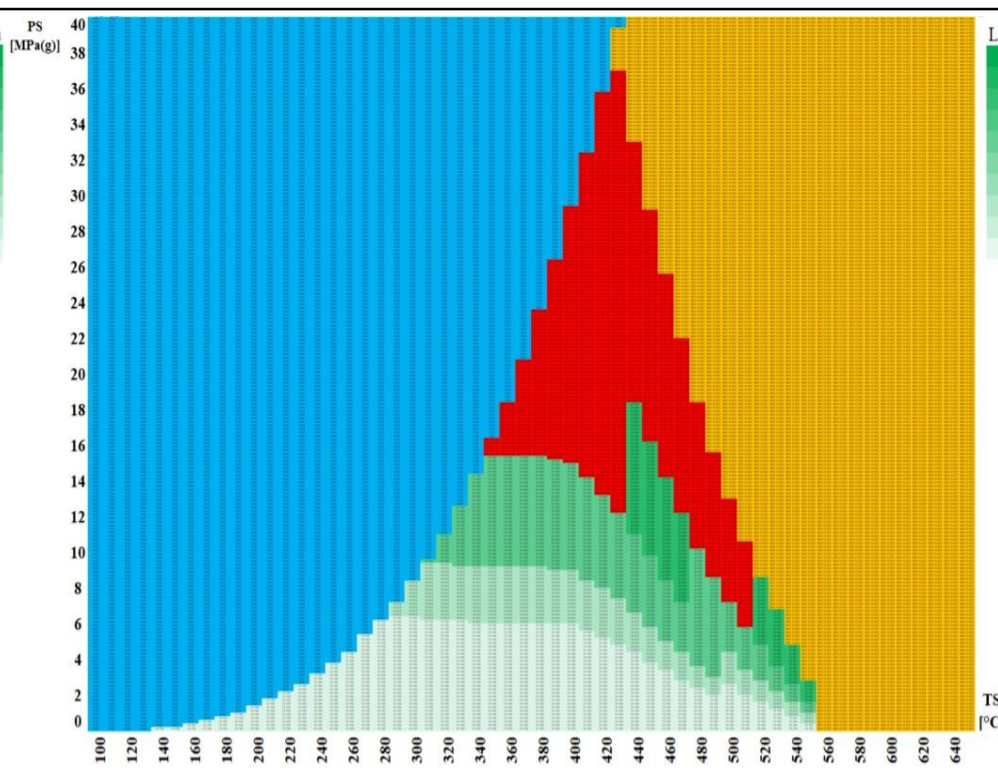
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

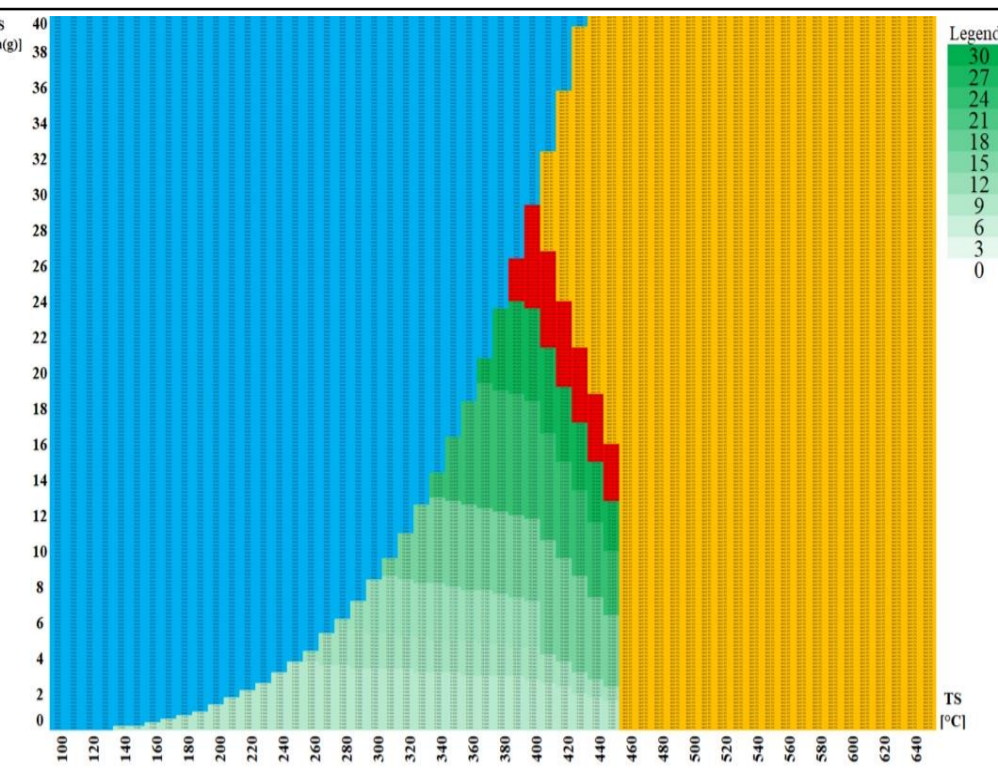
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



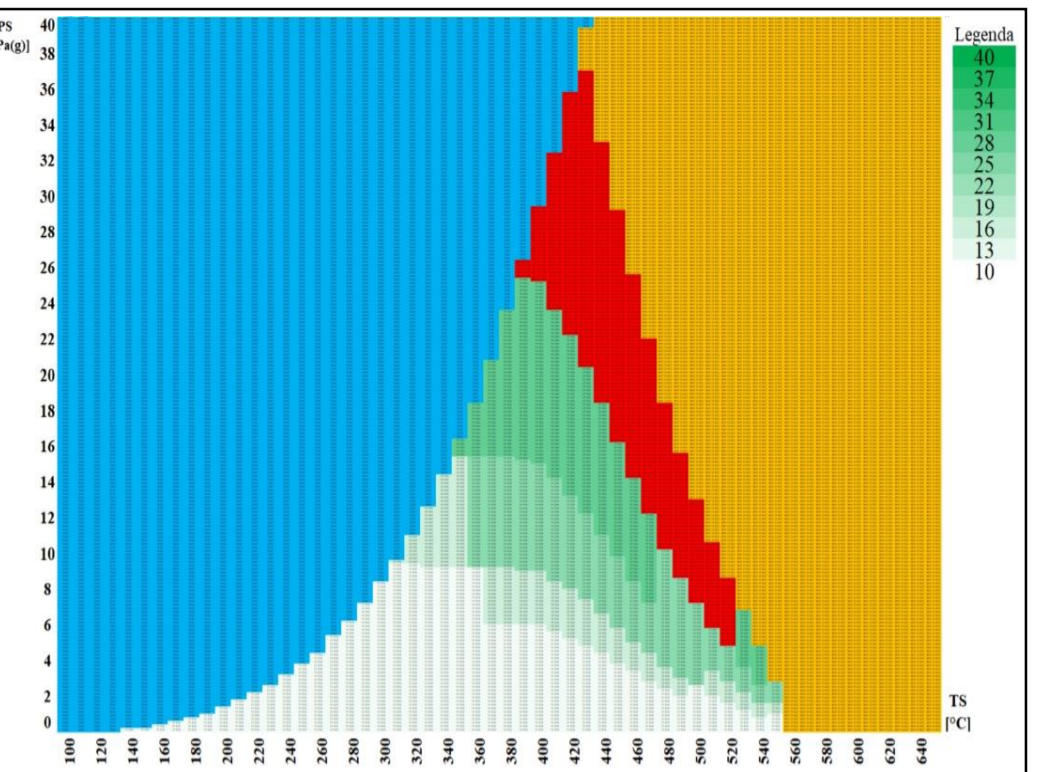
**P235GH**



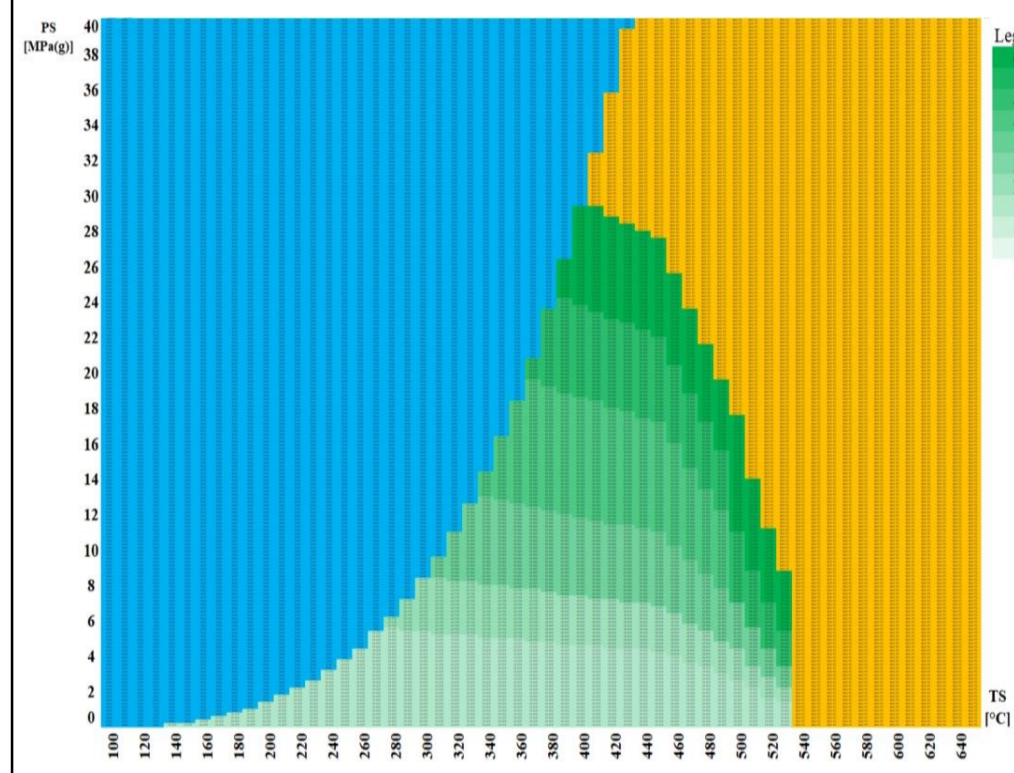
**A106-A**



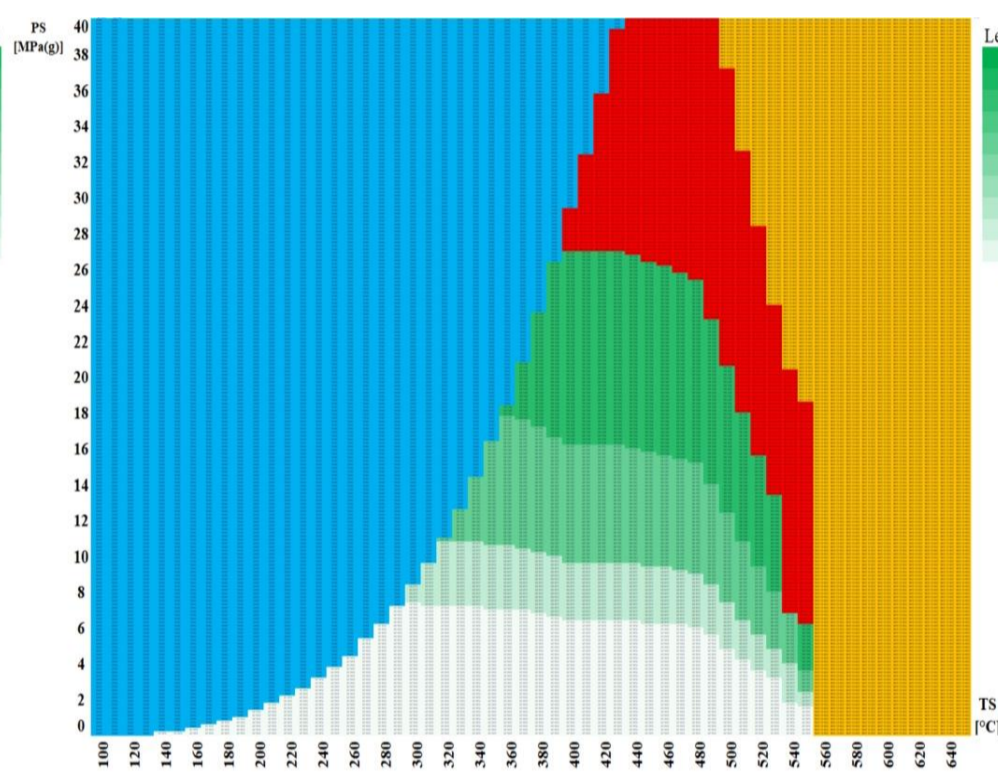
**P265GH**



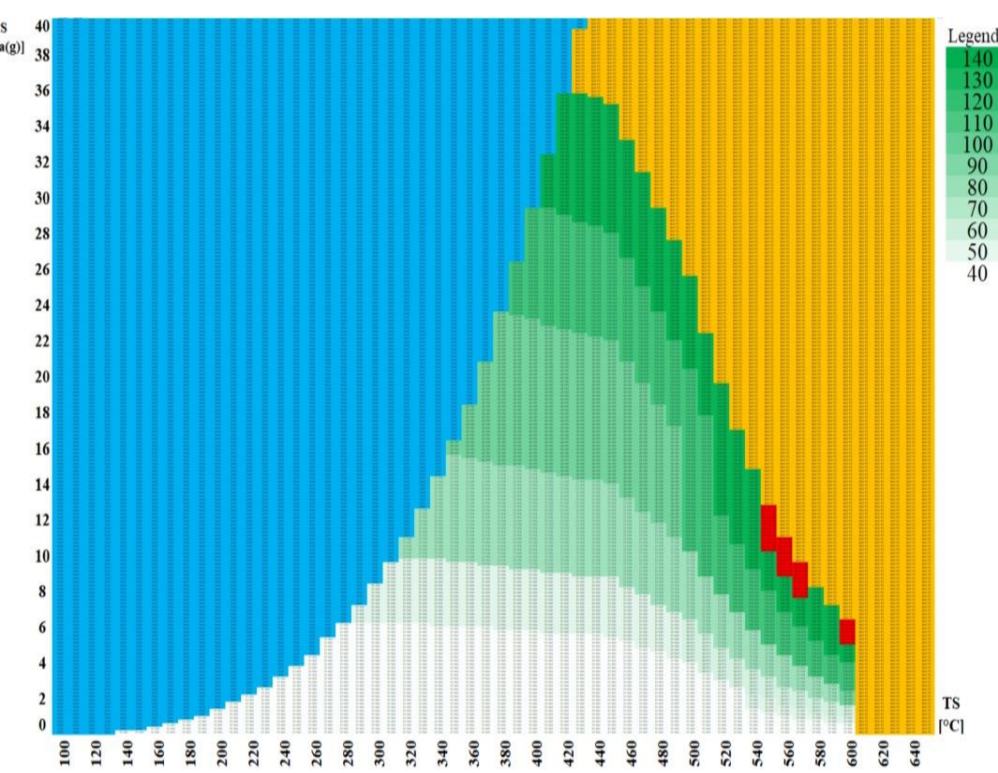
**A106-B**



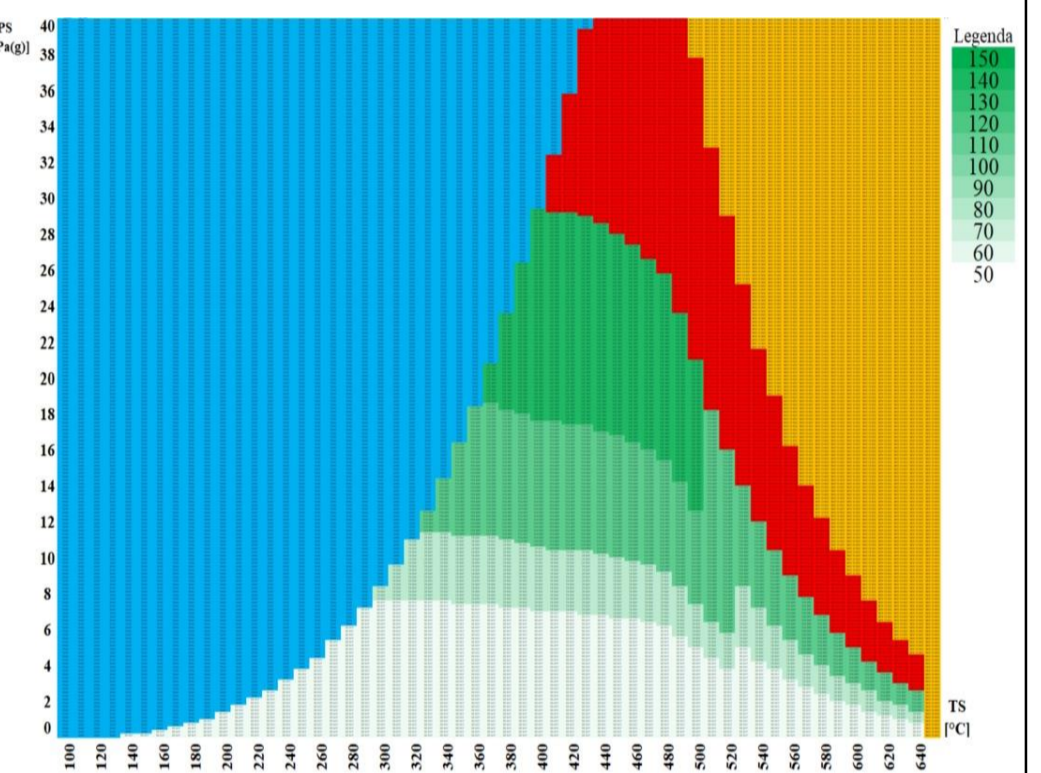
**16Mo3**



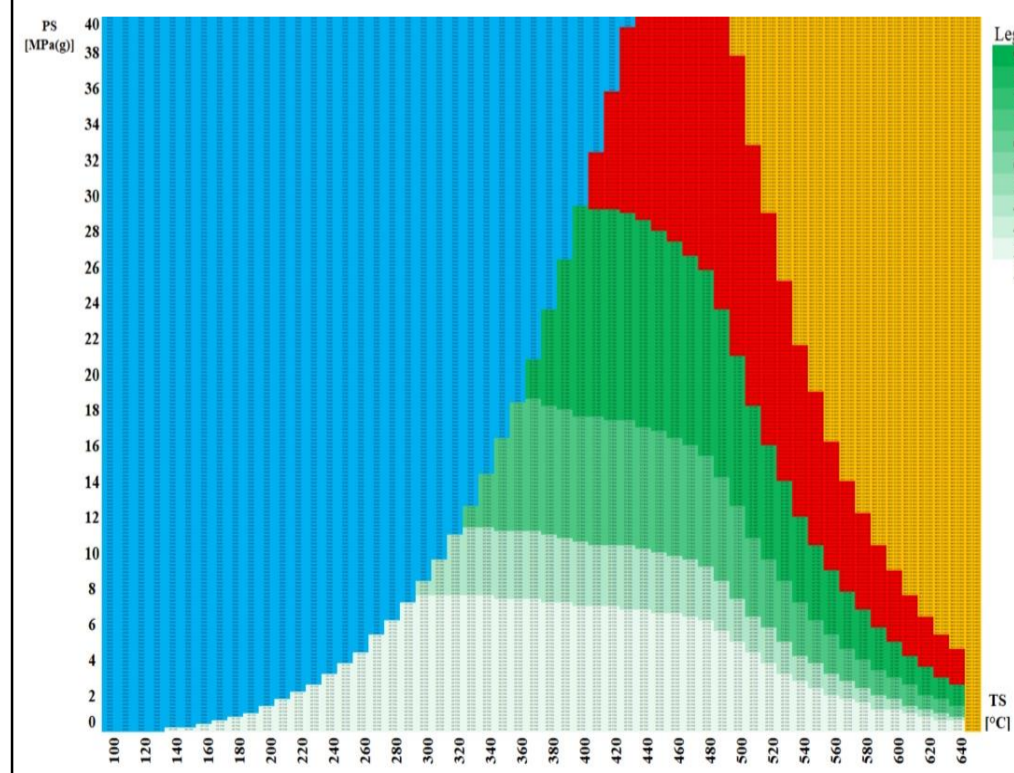
**A335-P1**



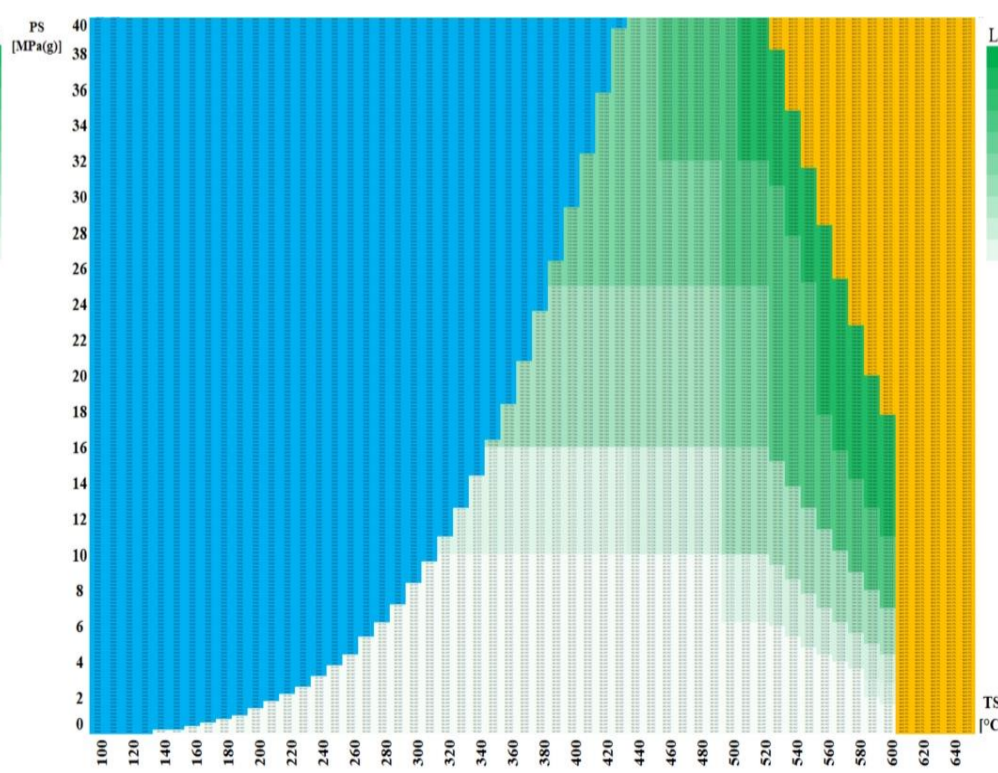
**10CrMo9-10**



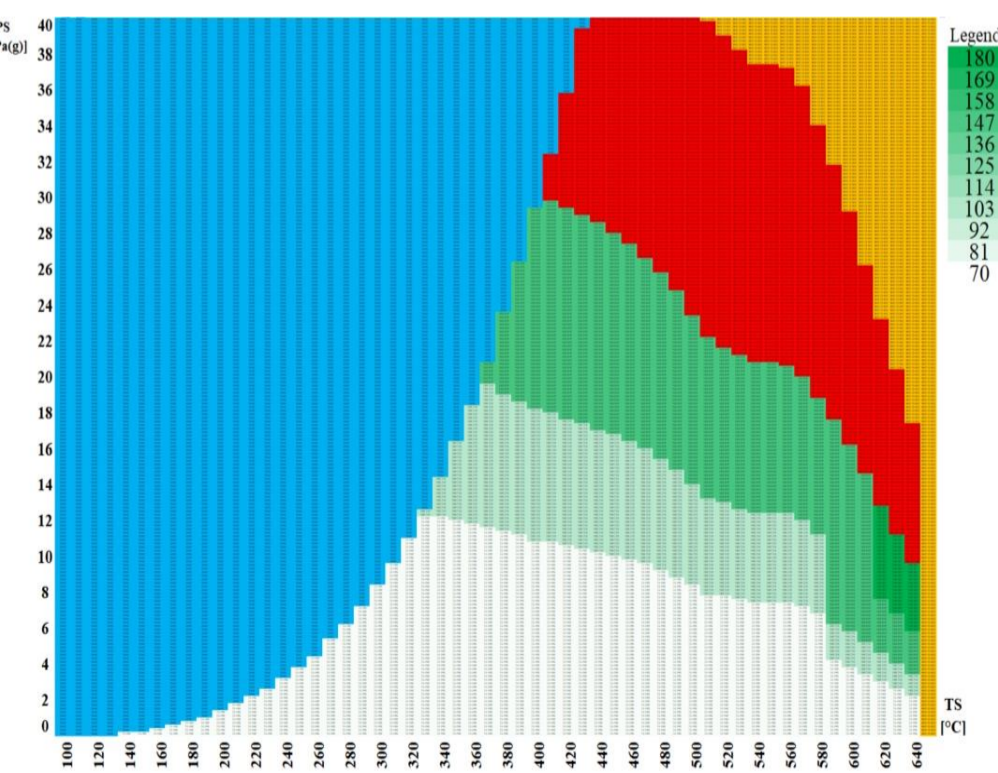
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



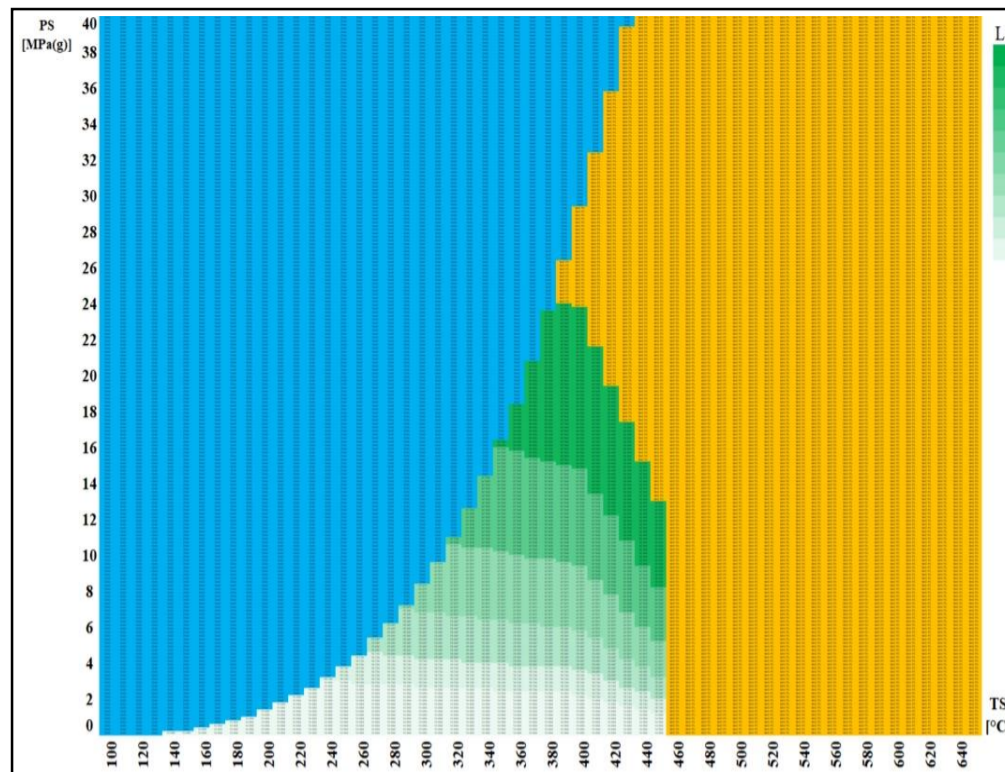
**A335 – P91**

***DN 50 – Cena za 1 metr průměho potrubí [tis. PJ]***

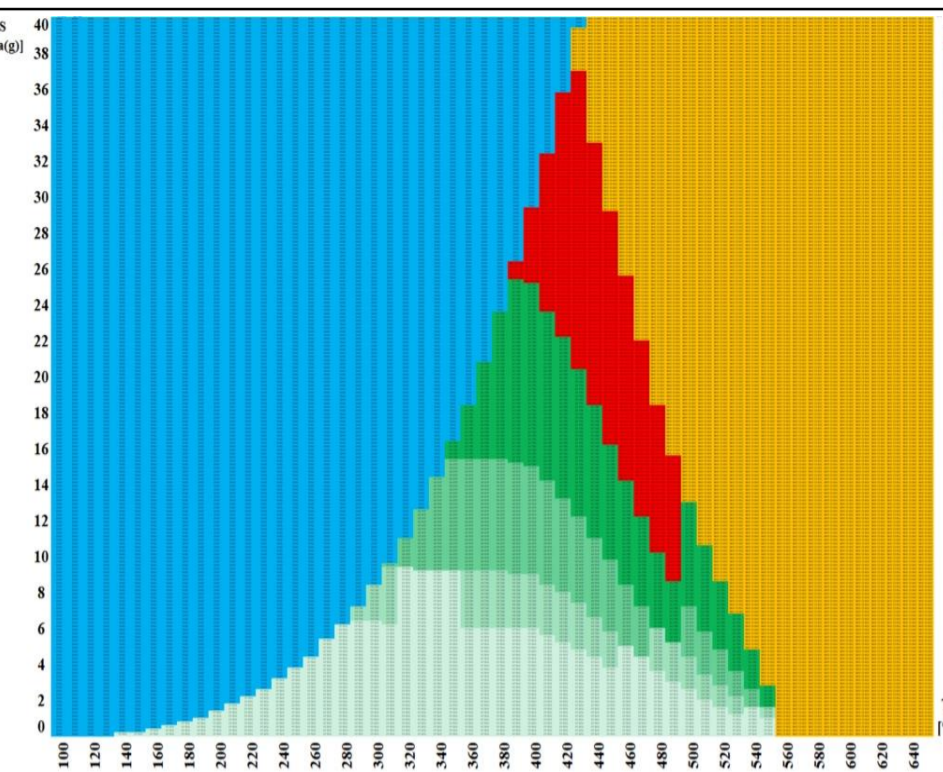
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

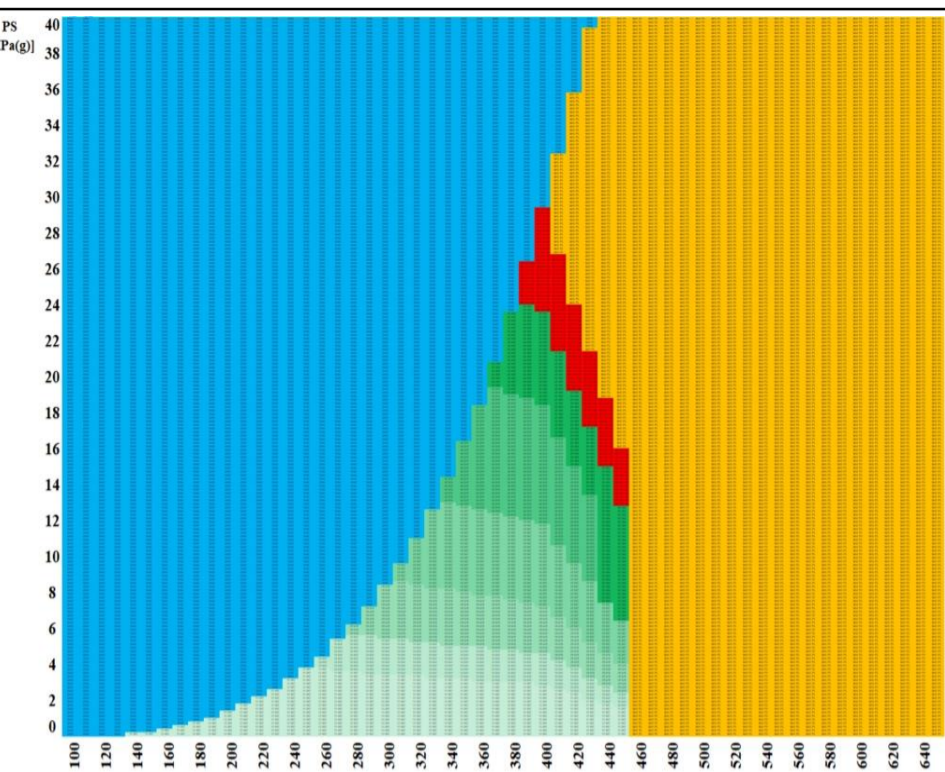
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



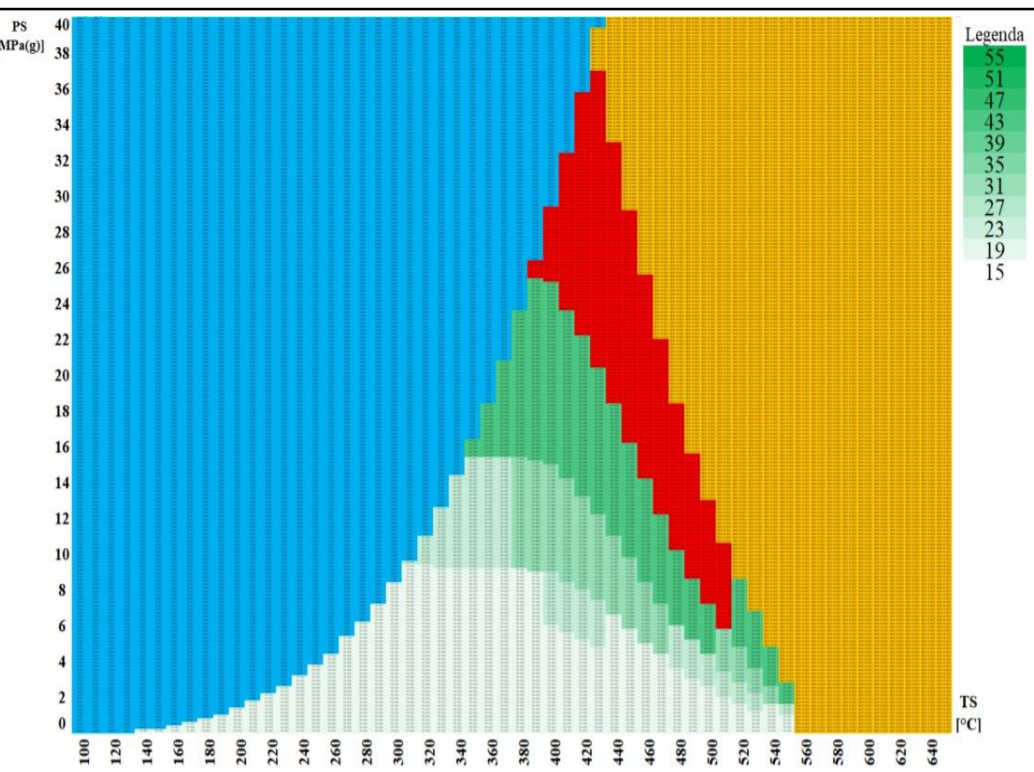
**P235GH**



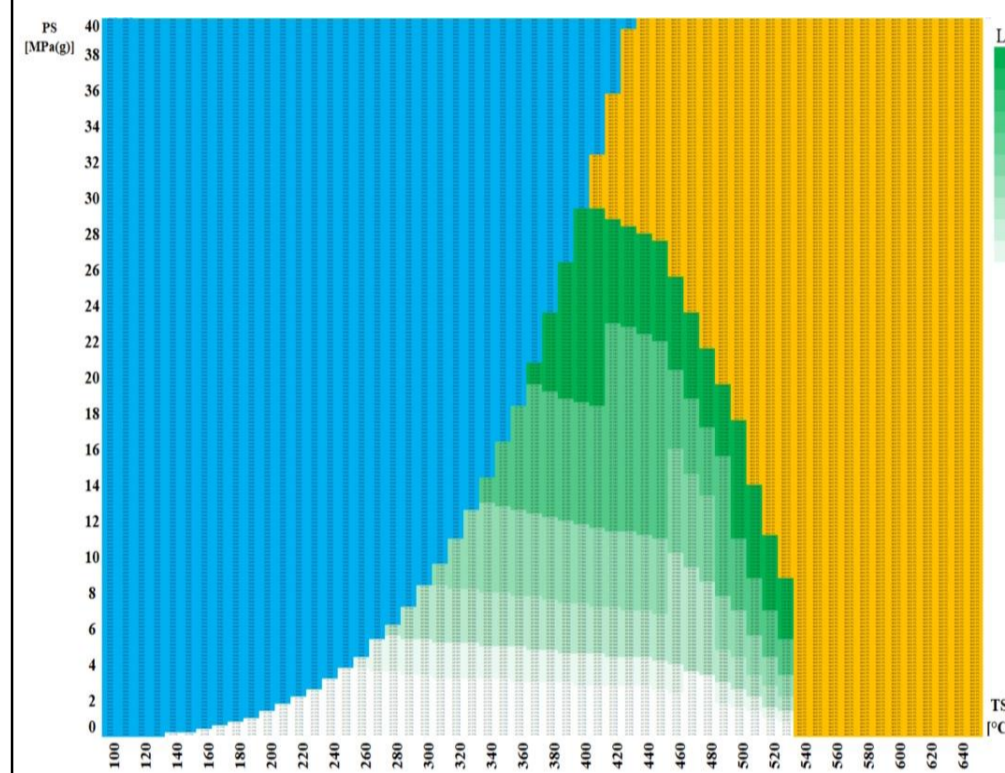
**A106-A**



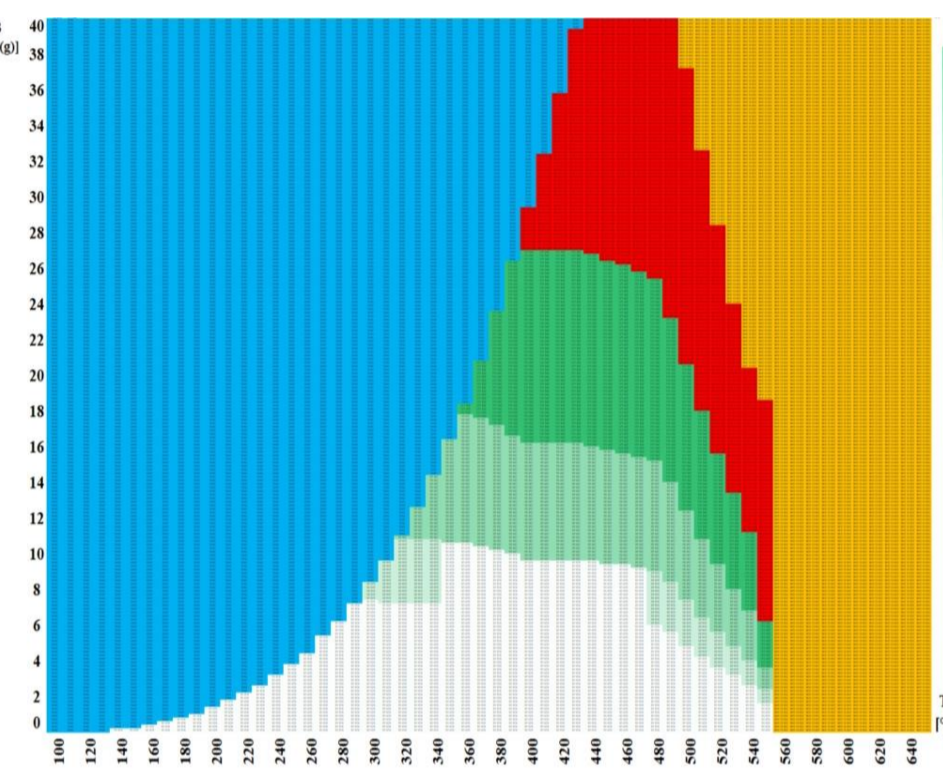
**P265GH**



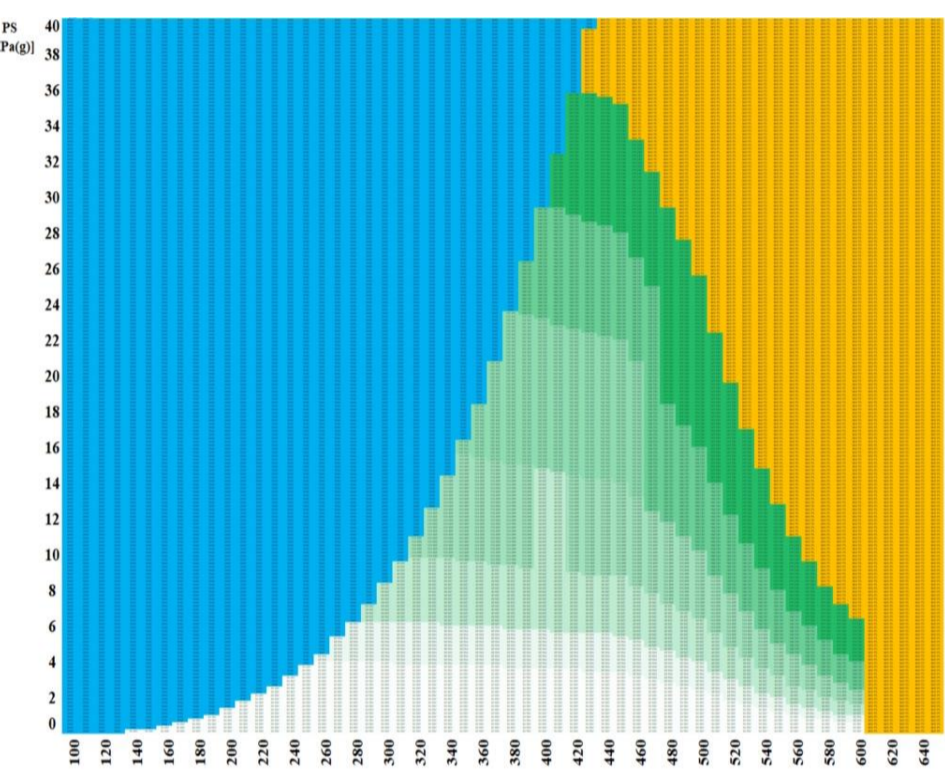
**A106-B**



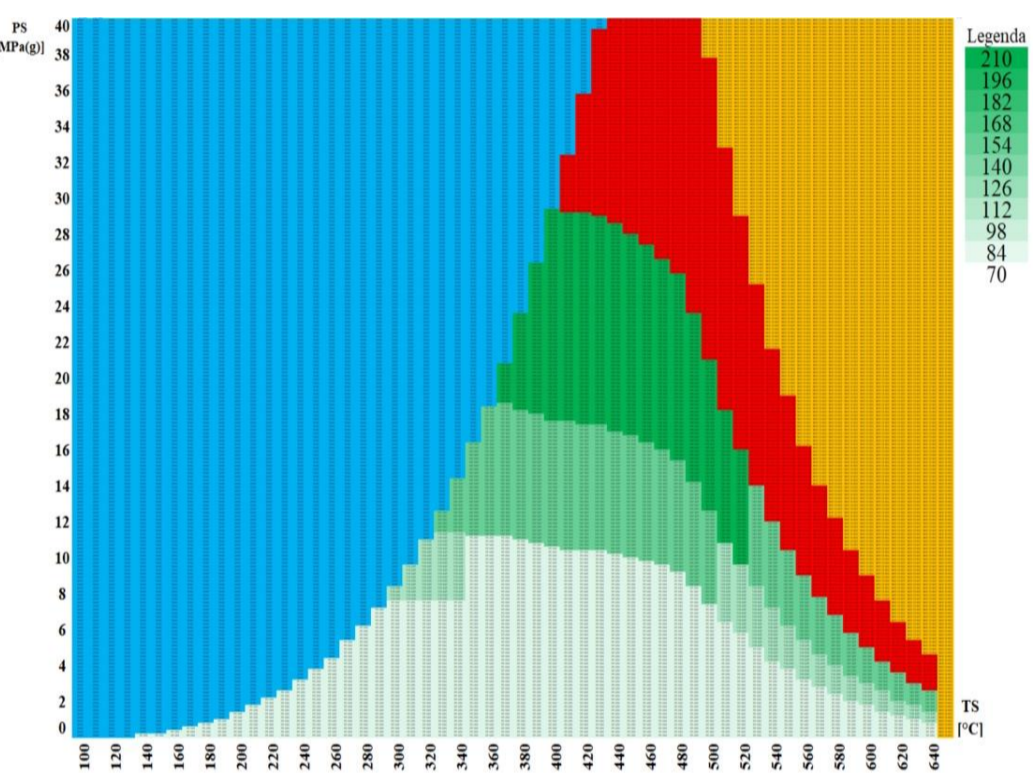
**16Mo3**



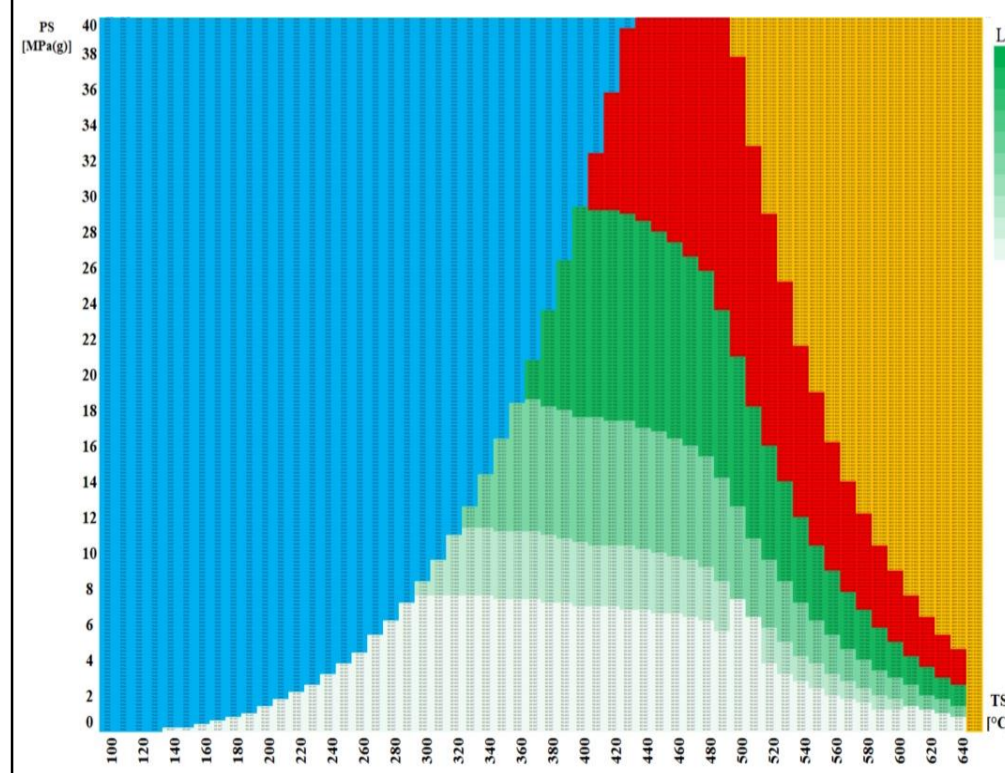
**A335-P1**



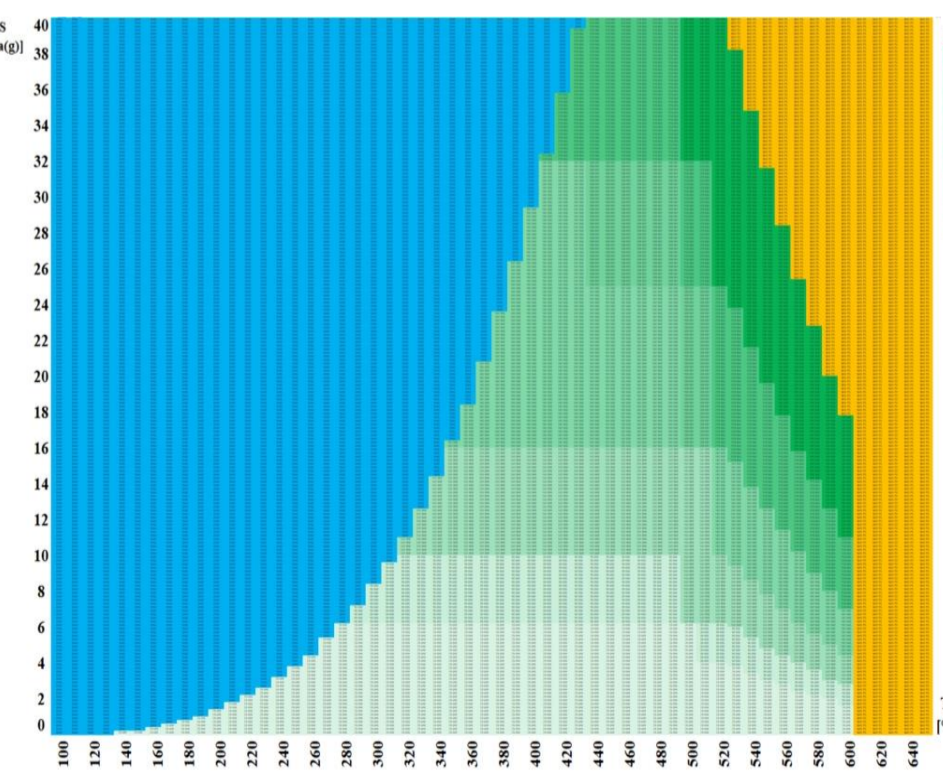
**10CrMo9-10**



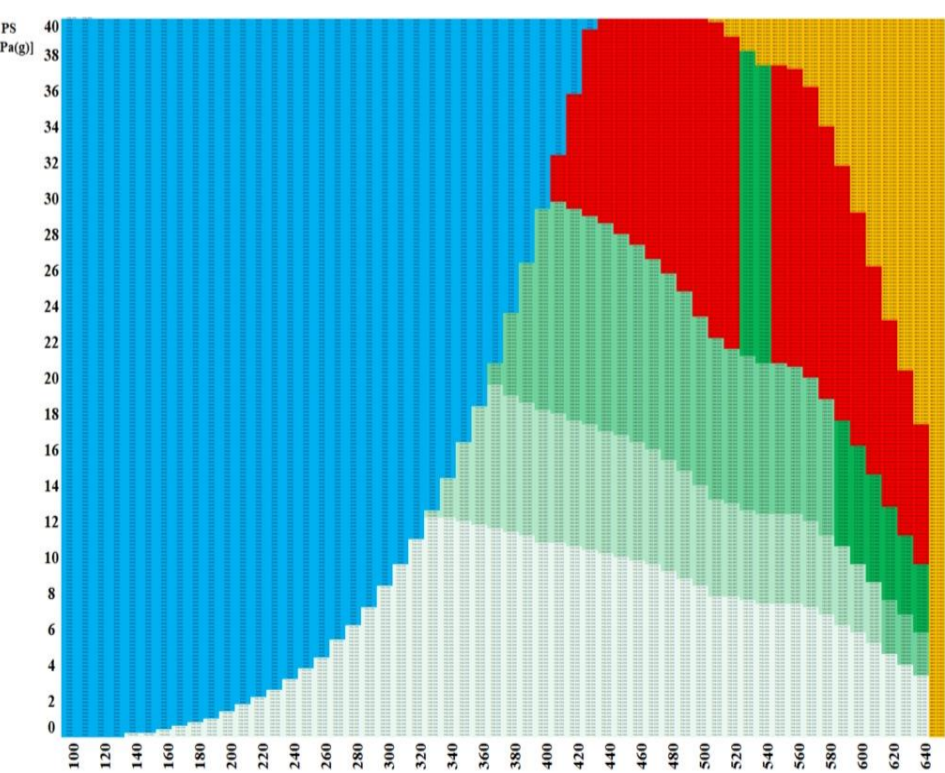
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



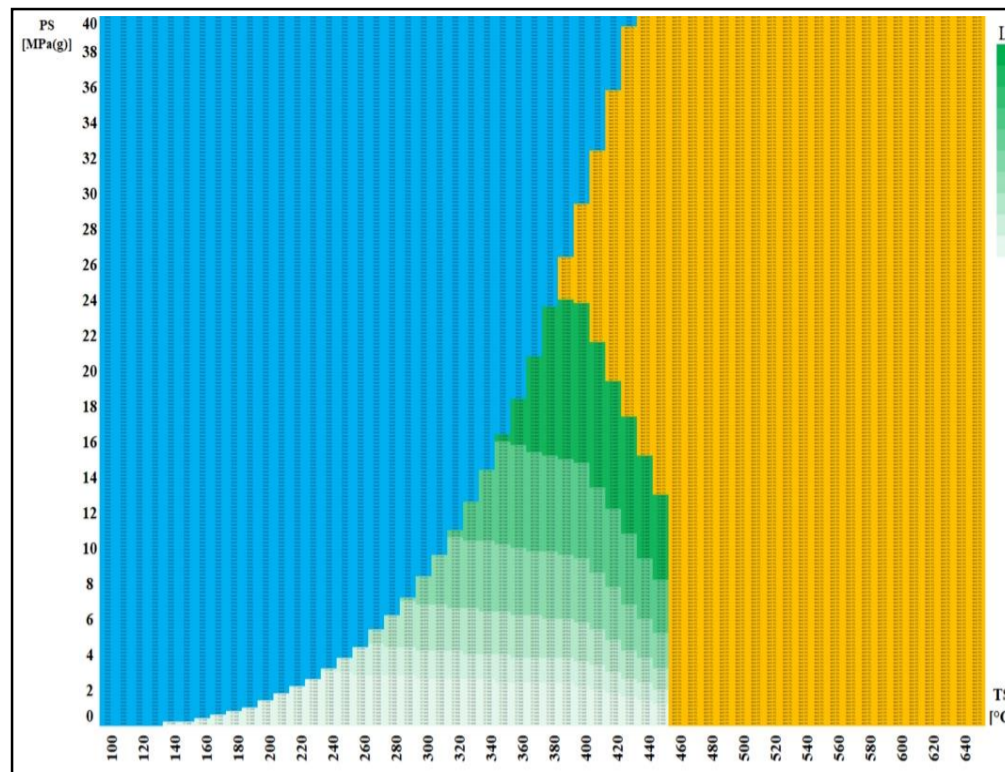
**A335 - P91**

***DN 65 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

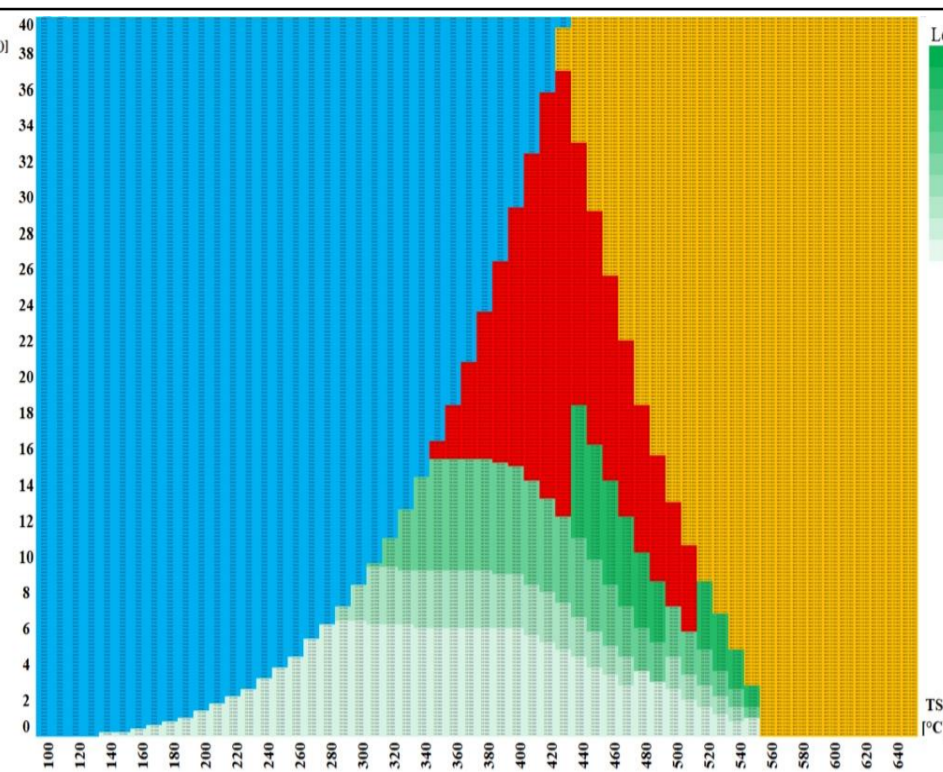
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

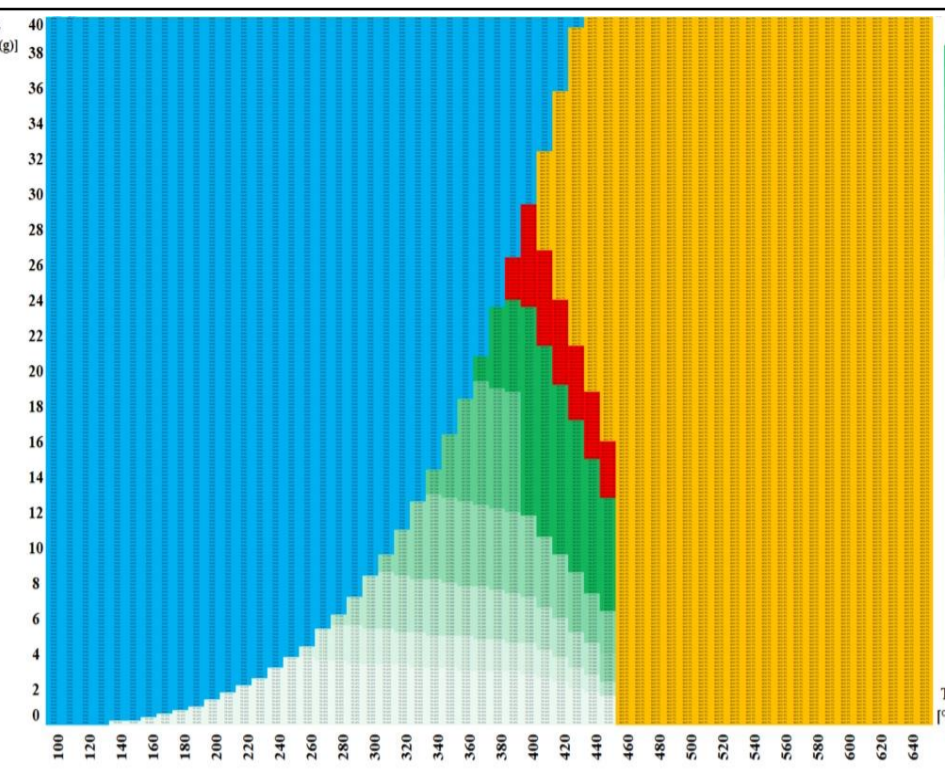
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



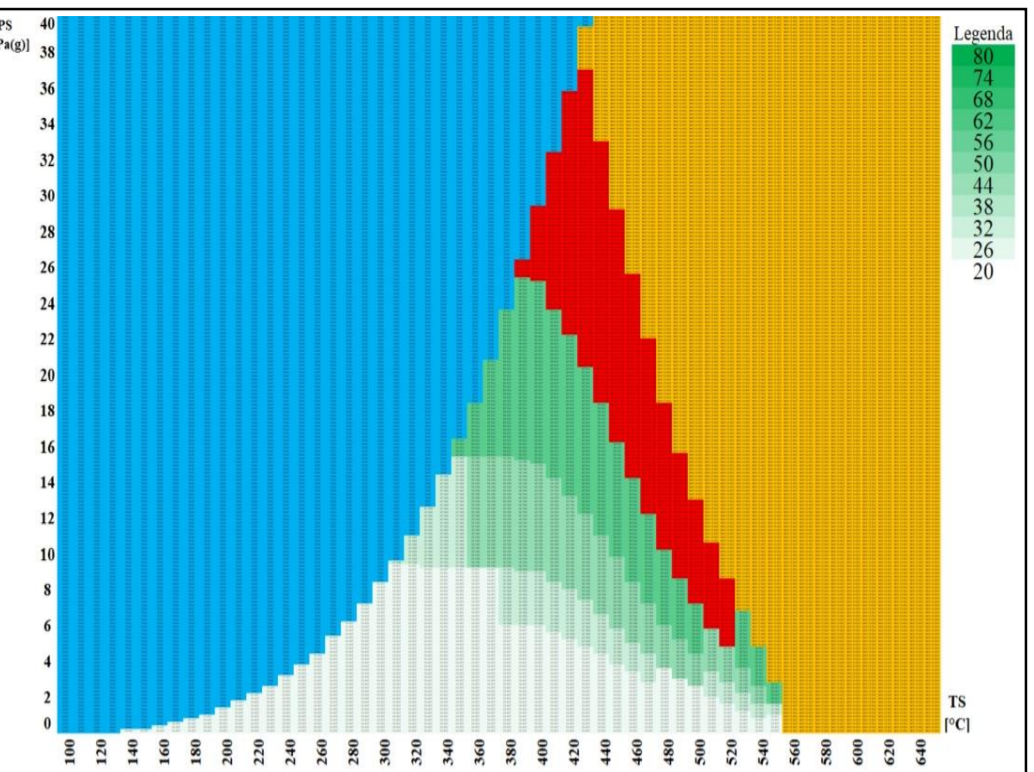
**P235GH**



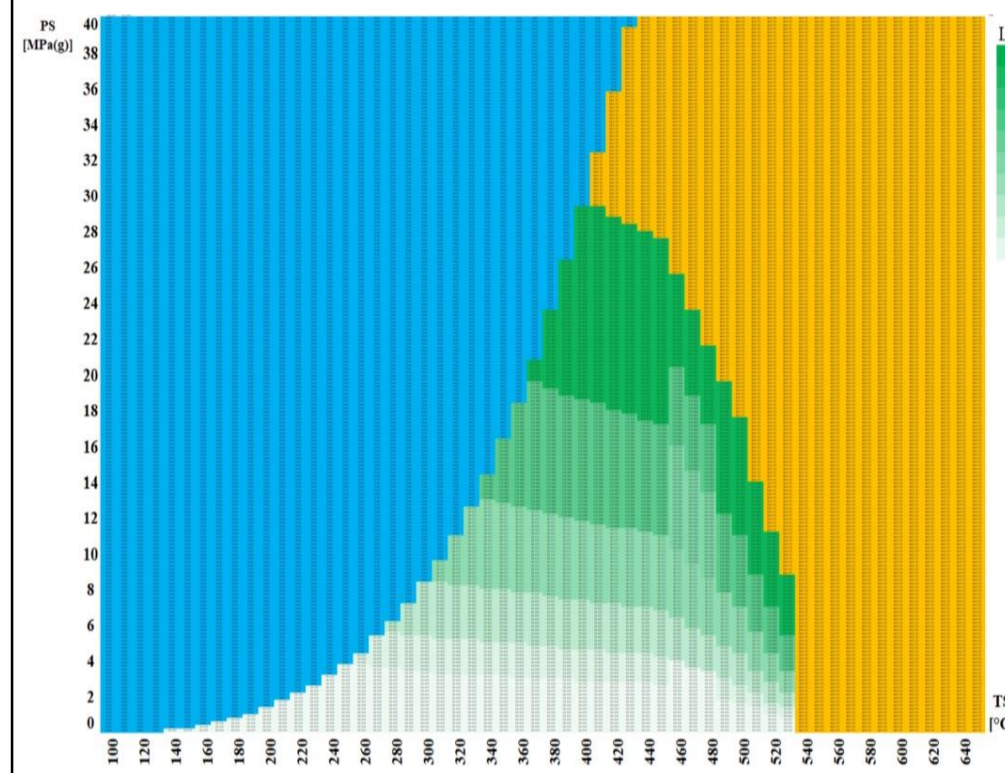
**A106-A**



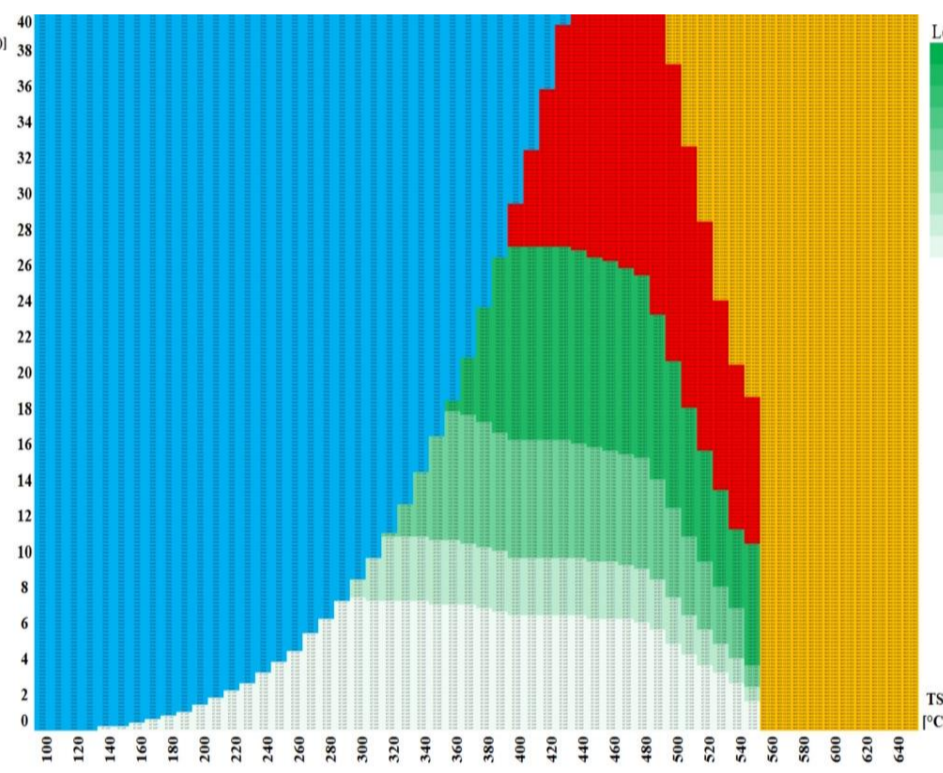
**P265GH**



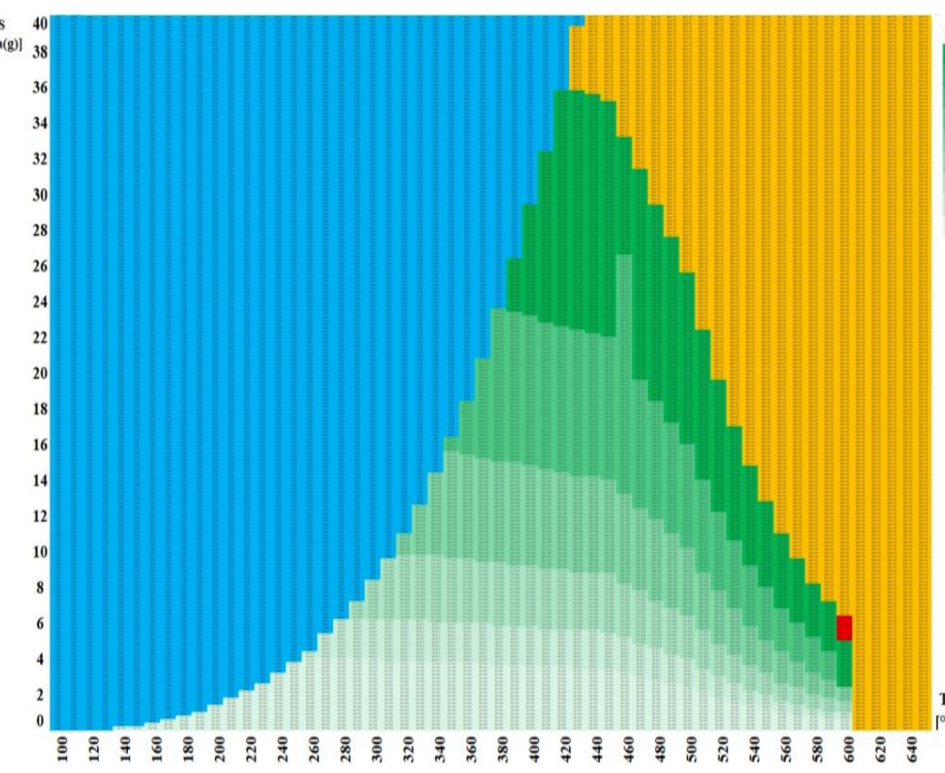
**A106-B**



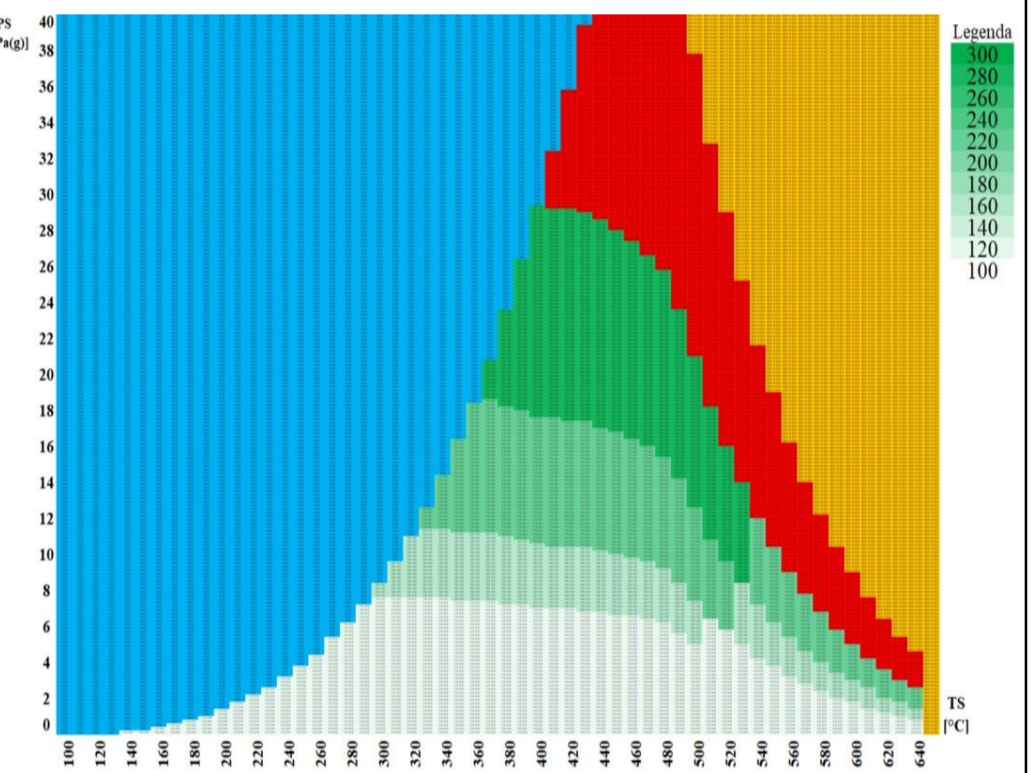
**16Mo3**



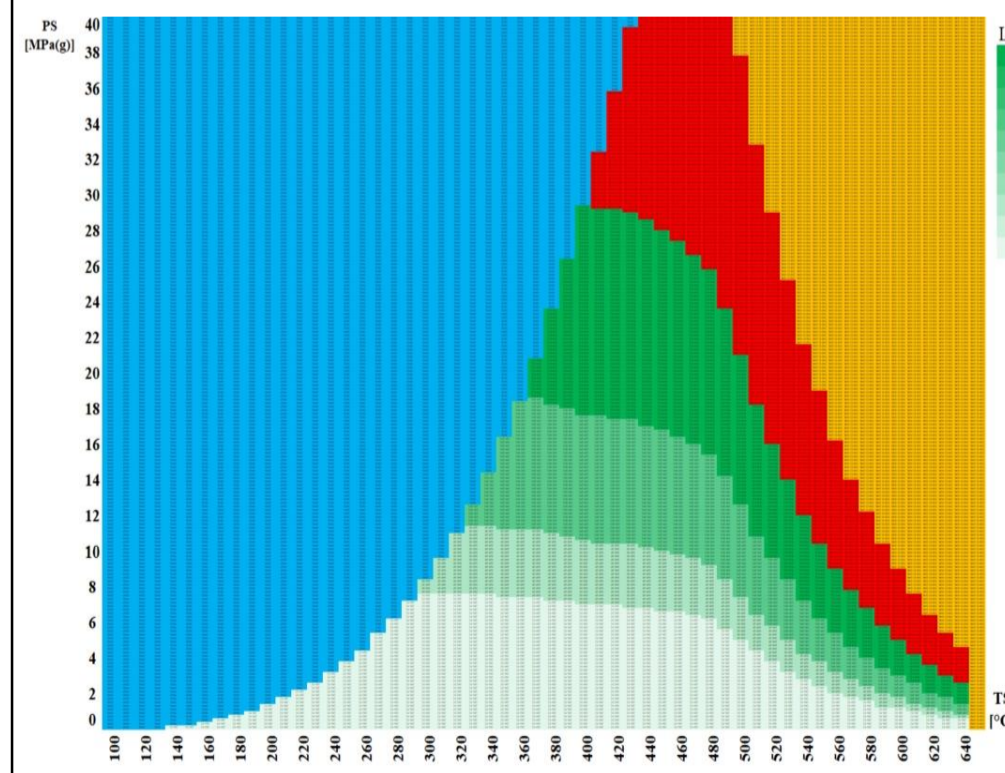
**A335-P1**



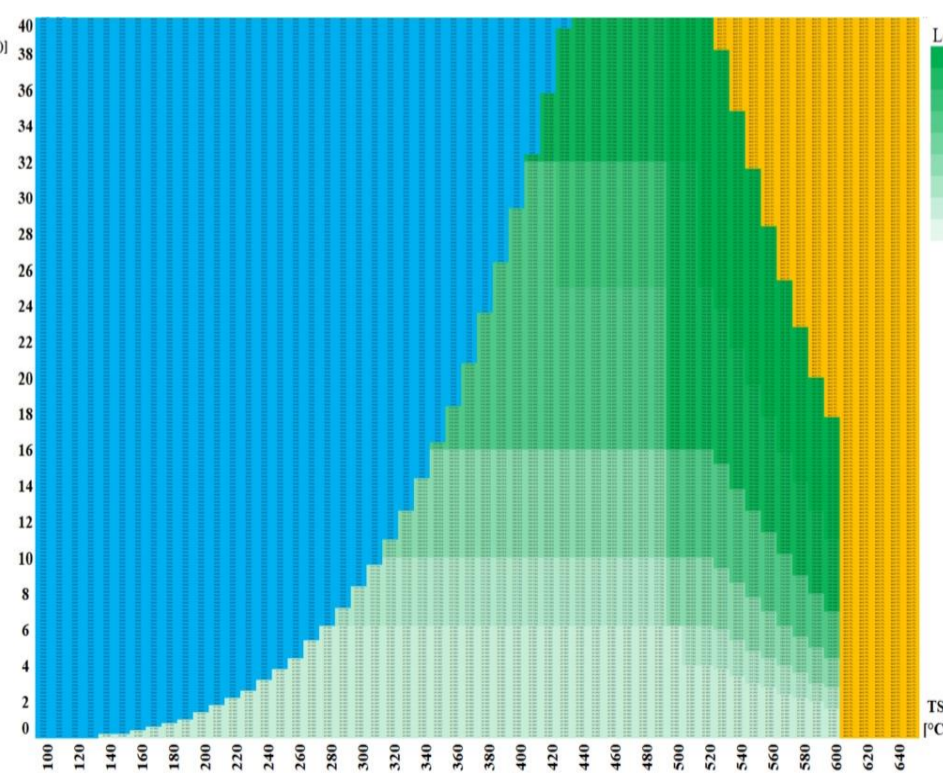
**10CrMo9-10**



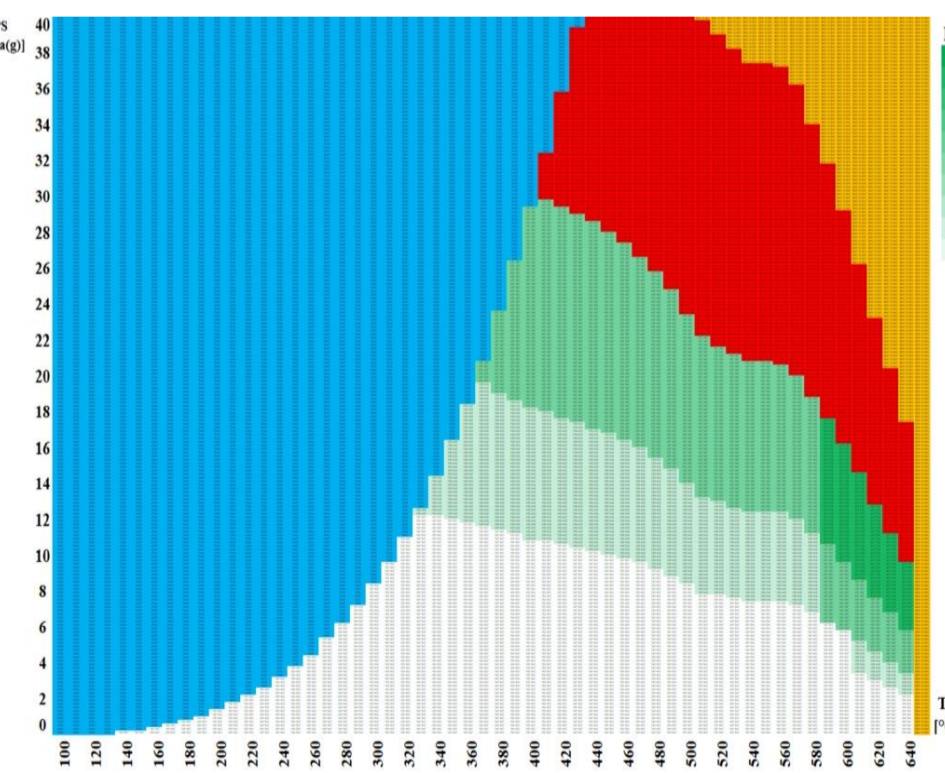
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



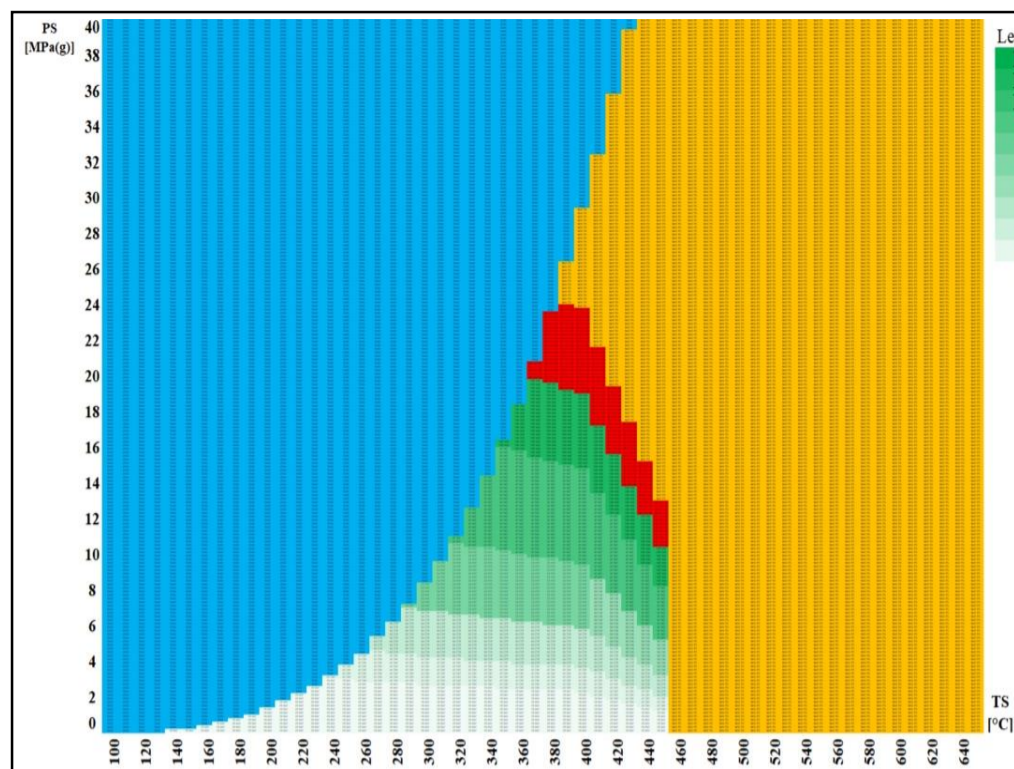
**A335 – P91**

***DN 80 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

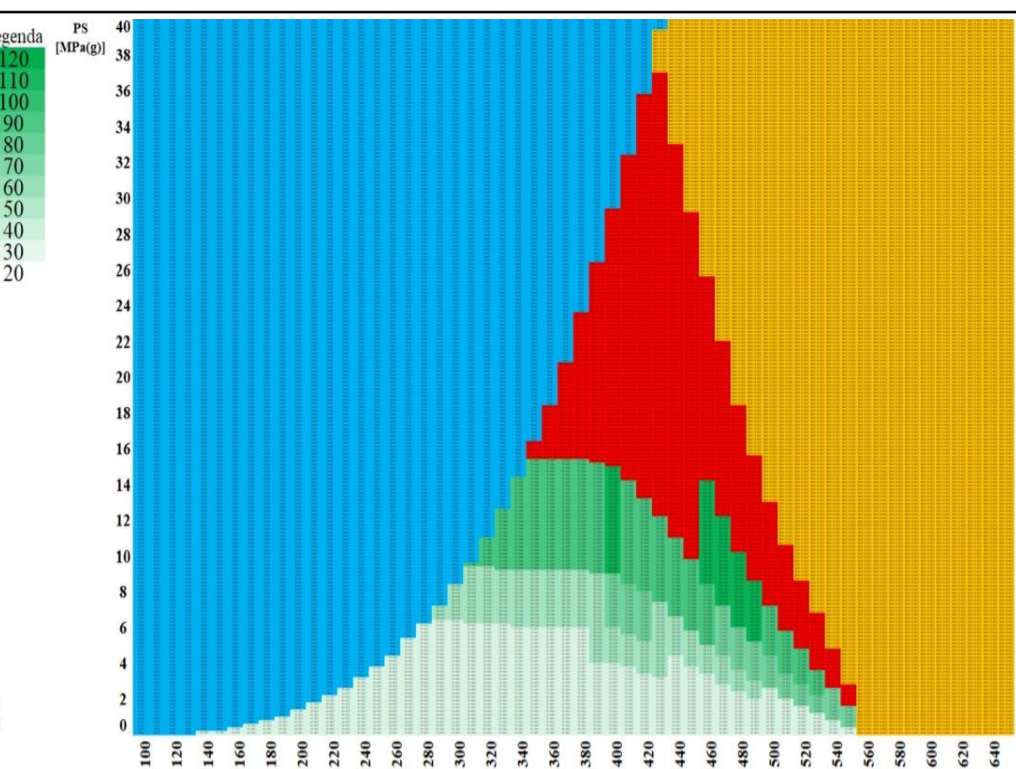
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

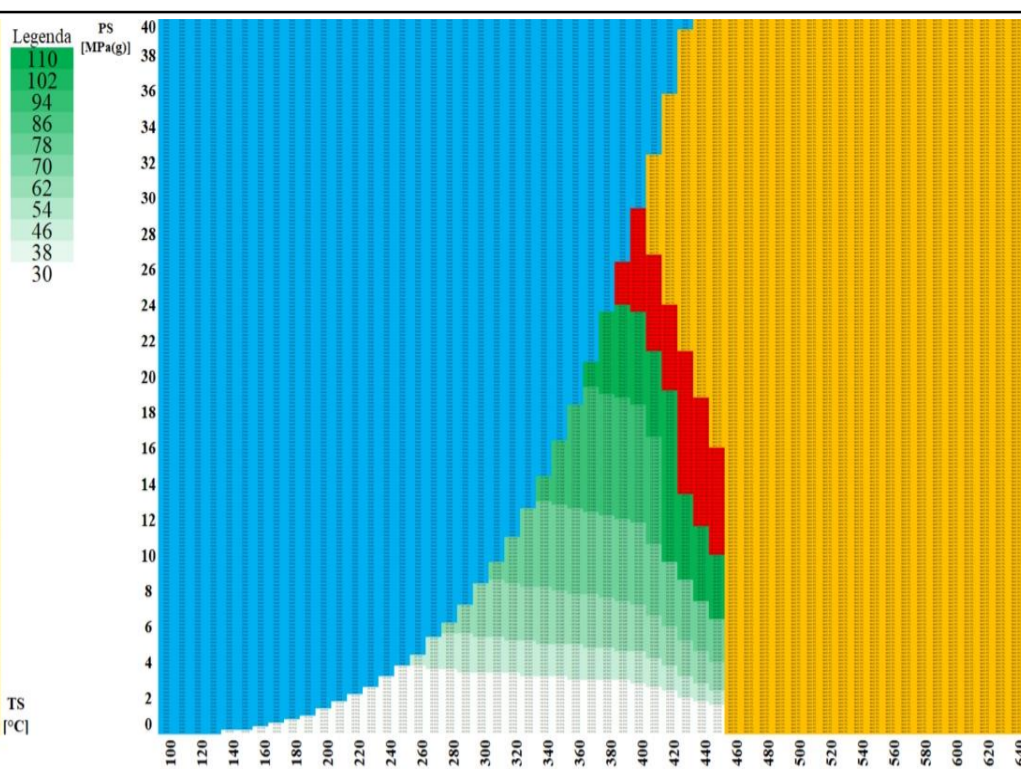
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



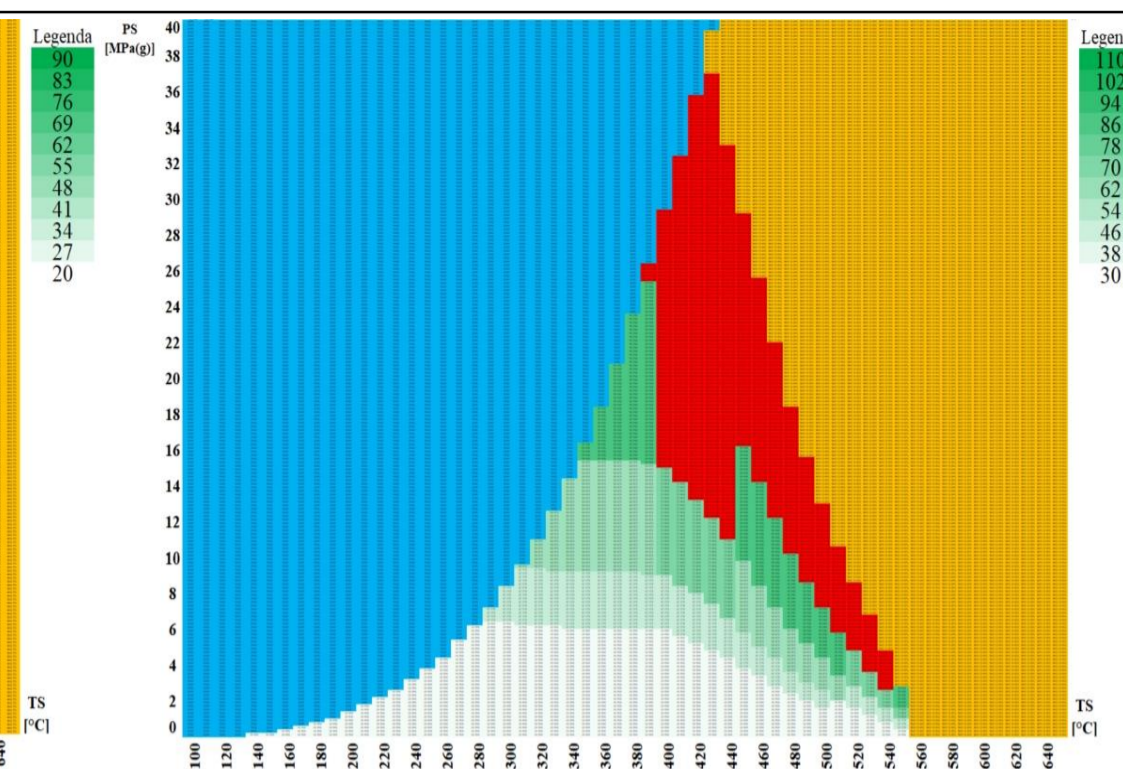
**P235GH**



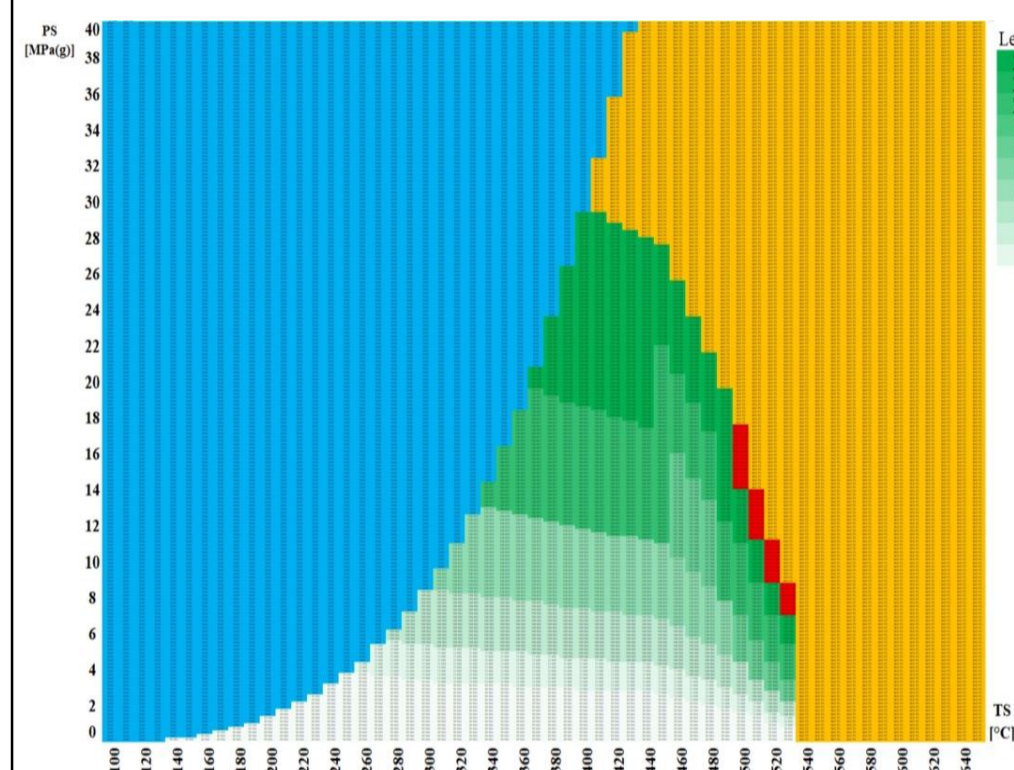
**A106-A**



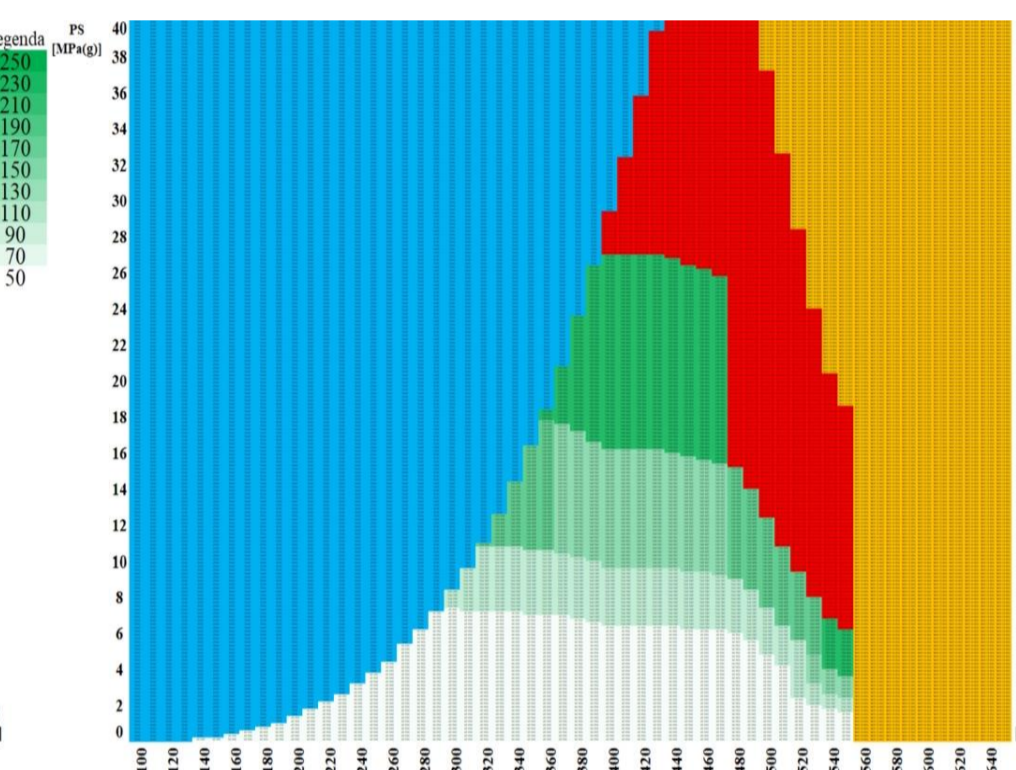
**P265GH**



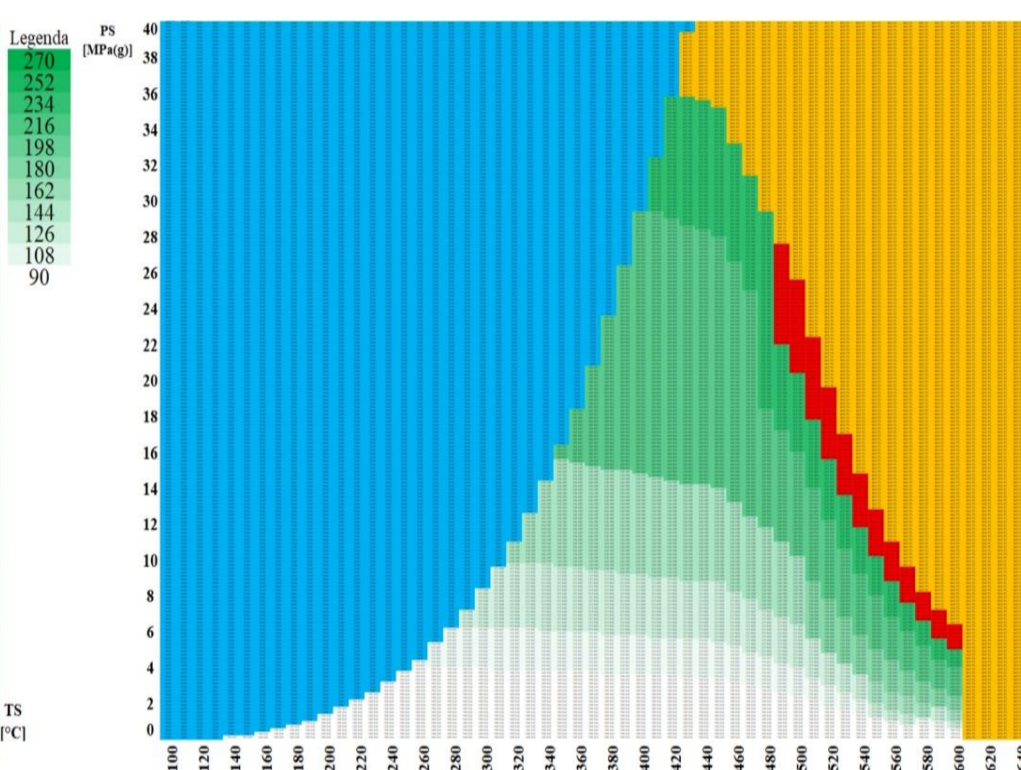
**A106-B**



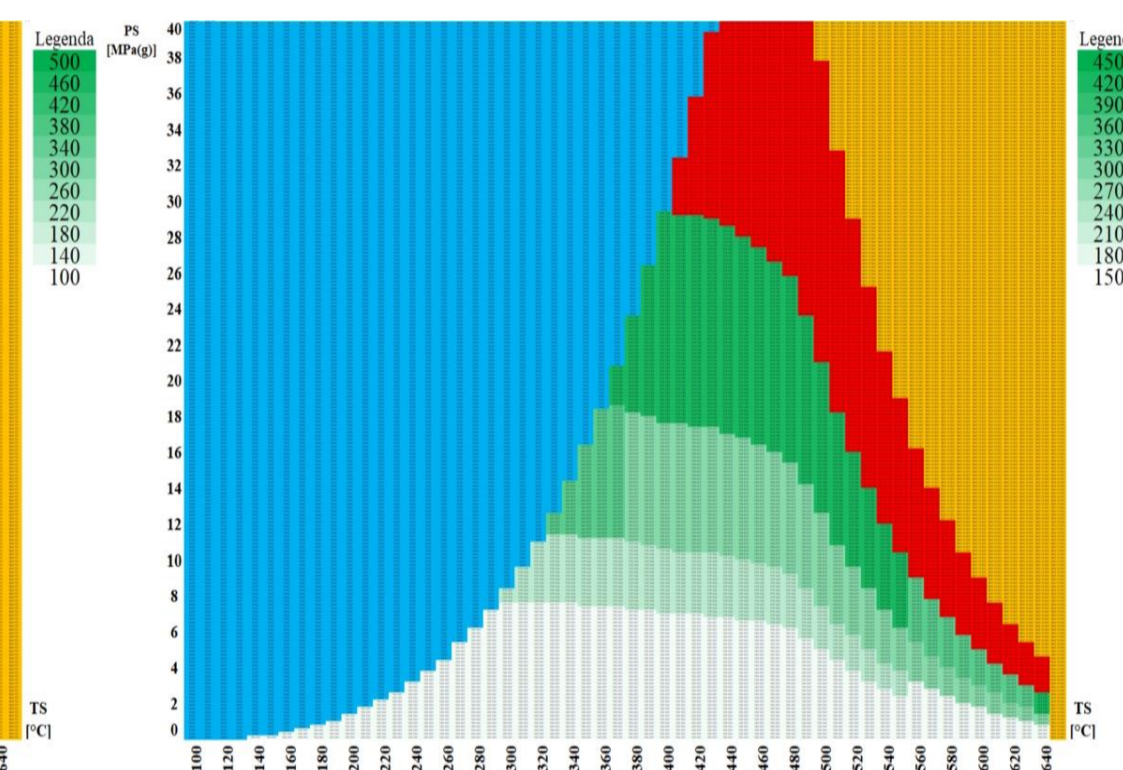
**16Mo3**



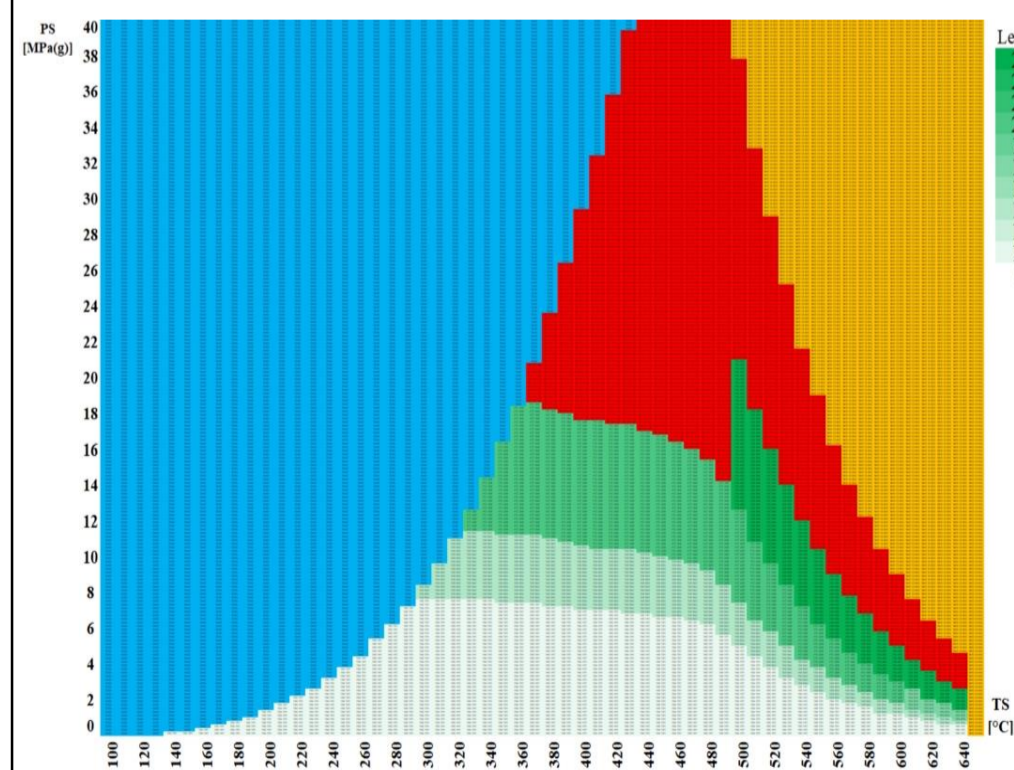
**A335-P1**



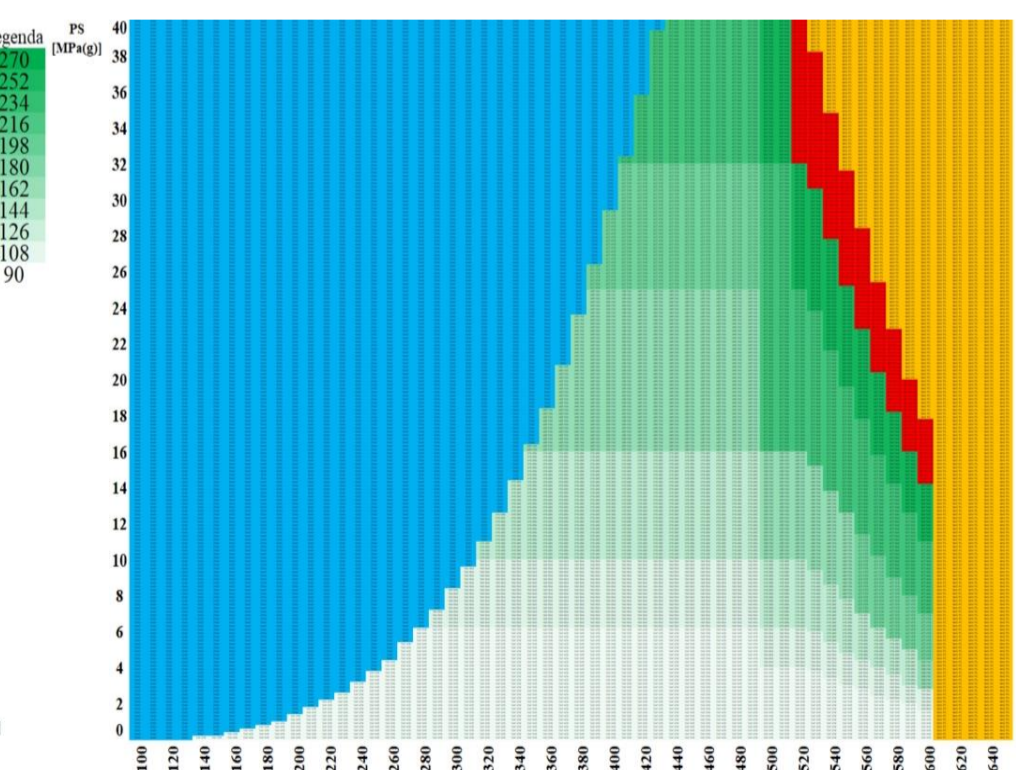
**10CrMo9-10**



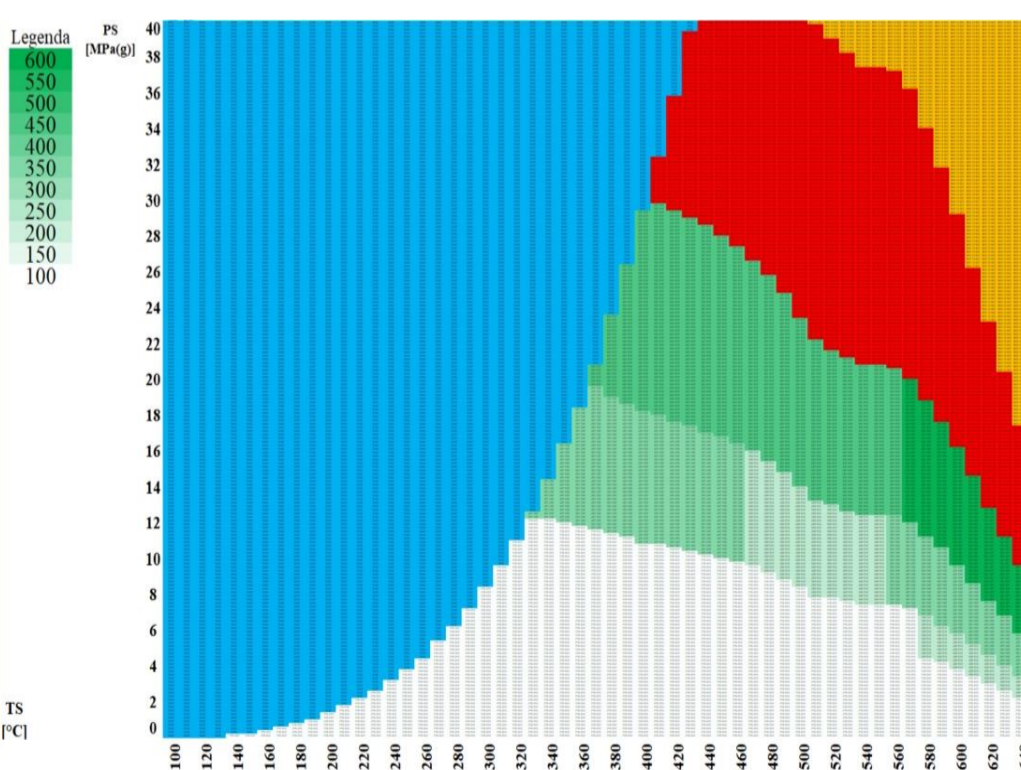
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



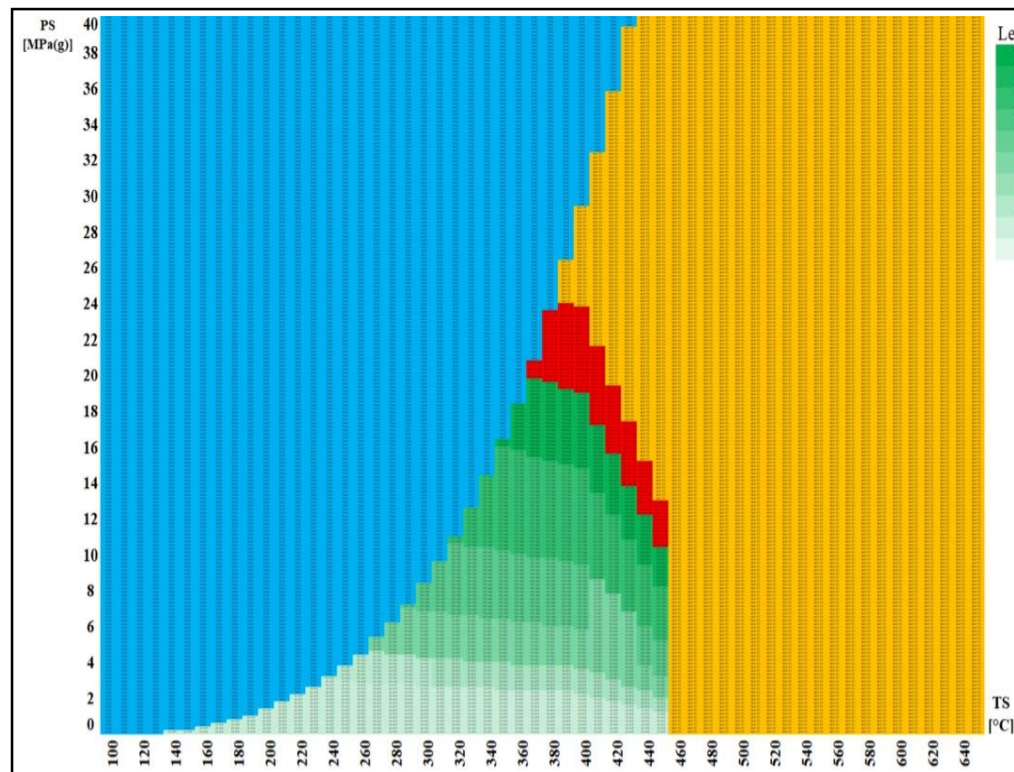
**A335 - P91**

***DN 100 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

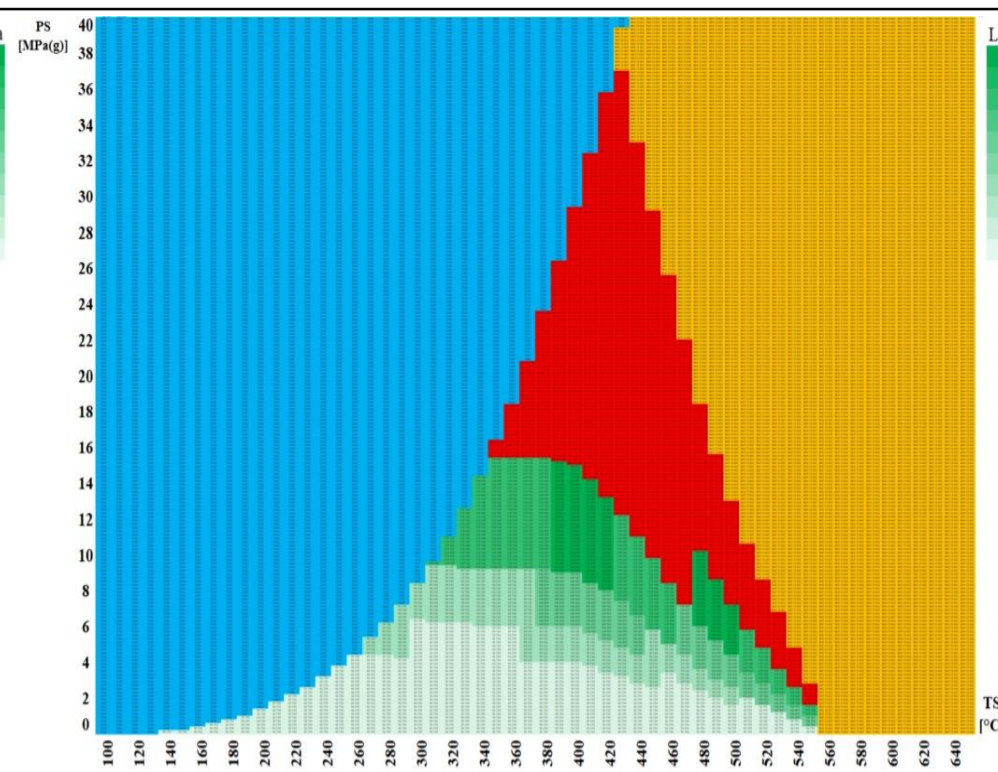
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

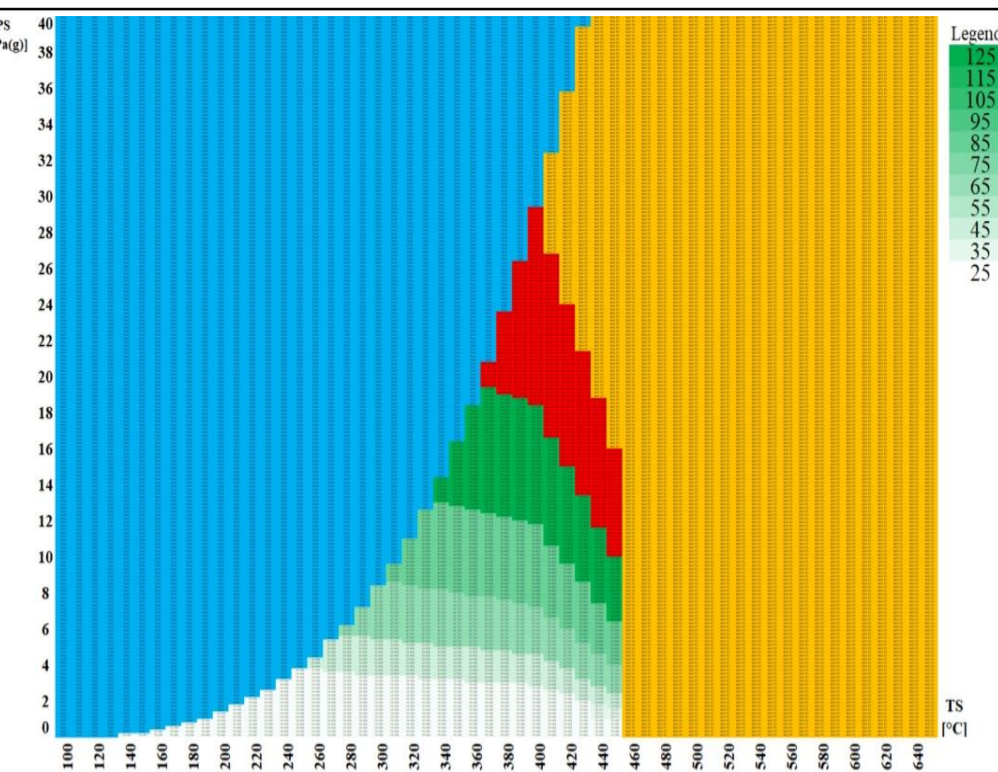
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



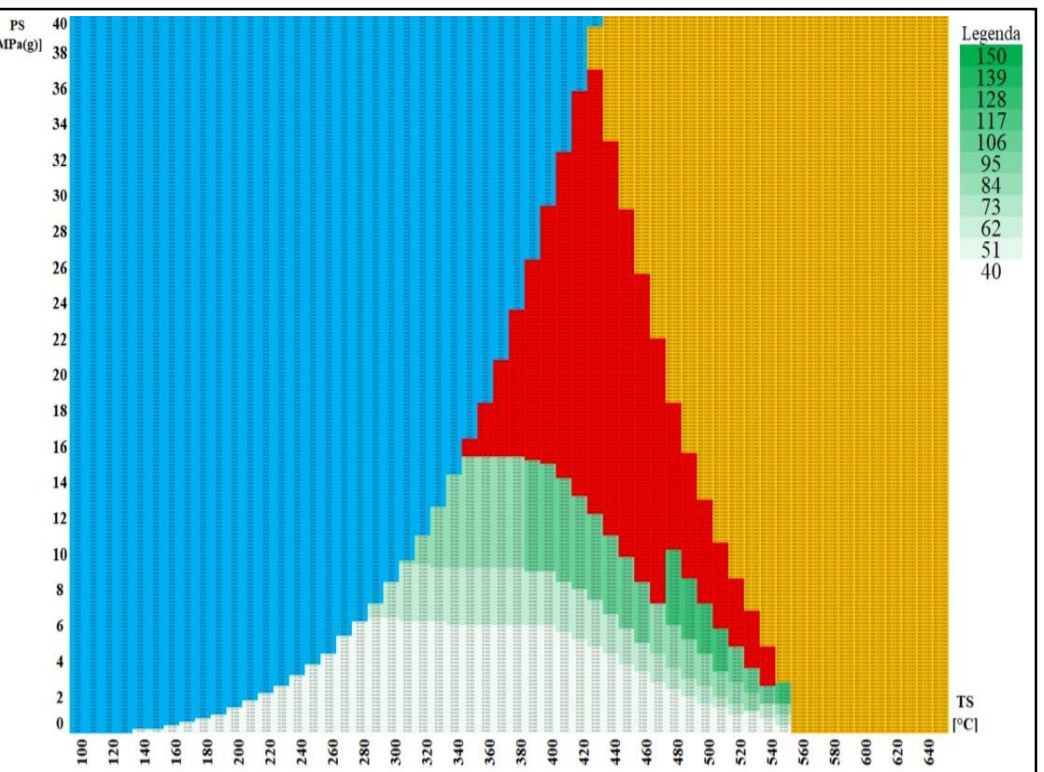
**P235GH**



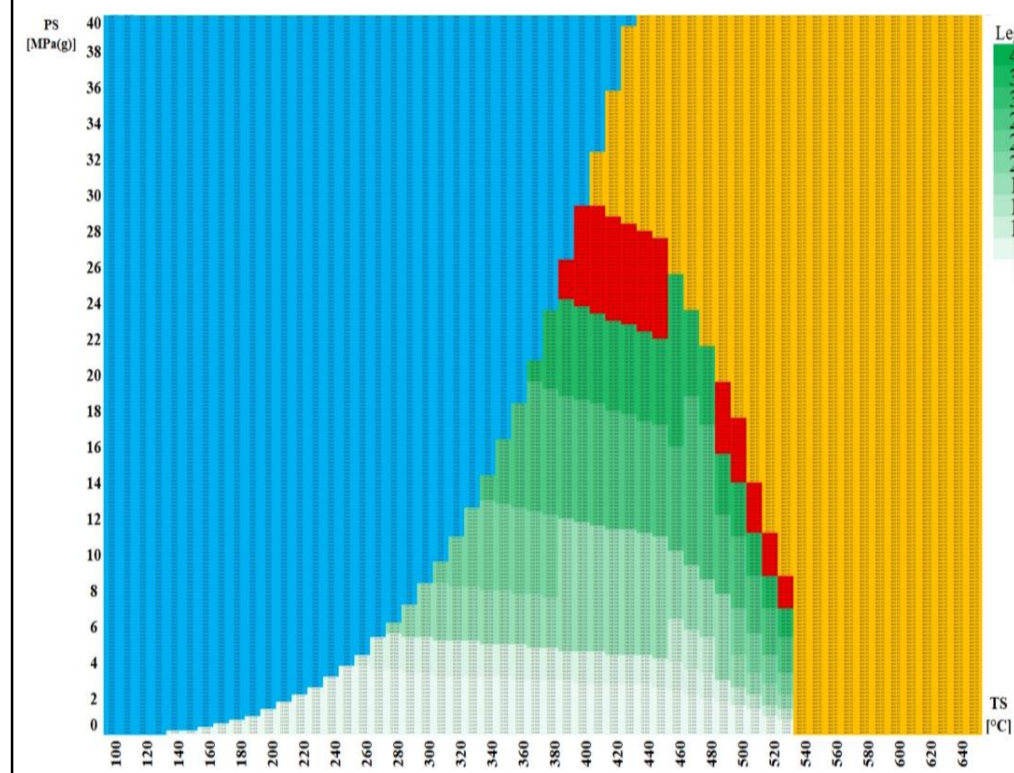
**A106-A**



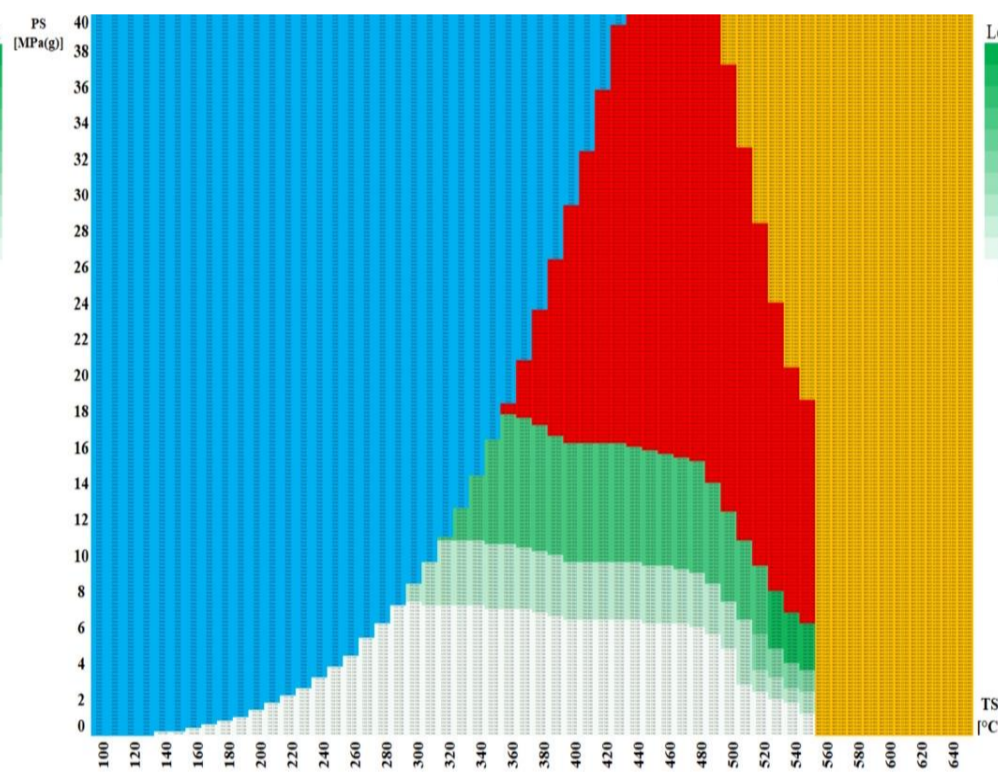
**P265GH**



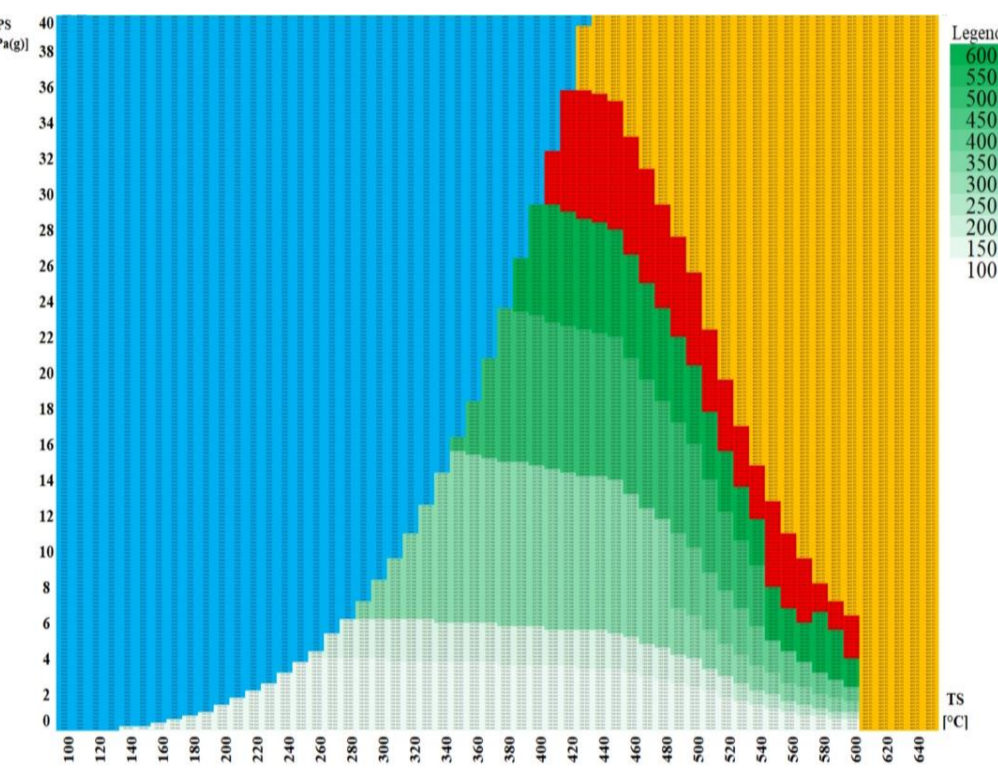
**A106-B**



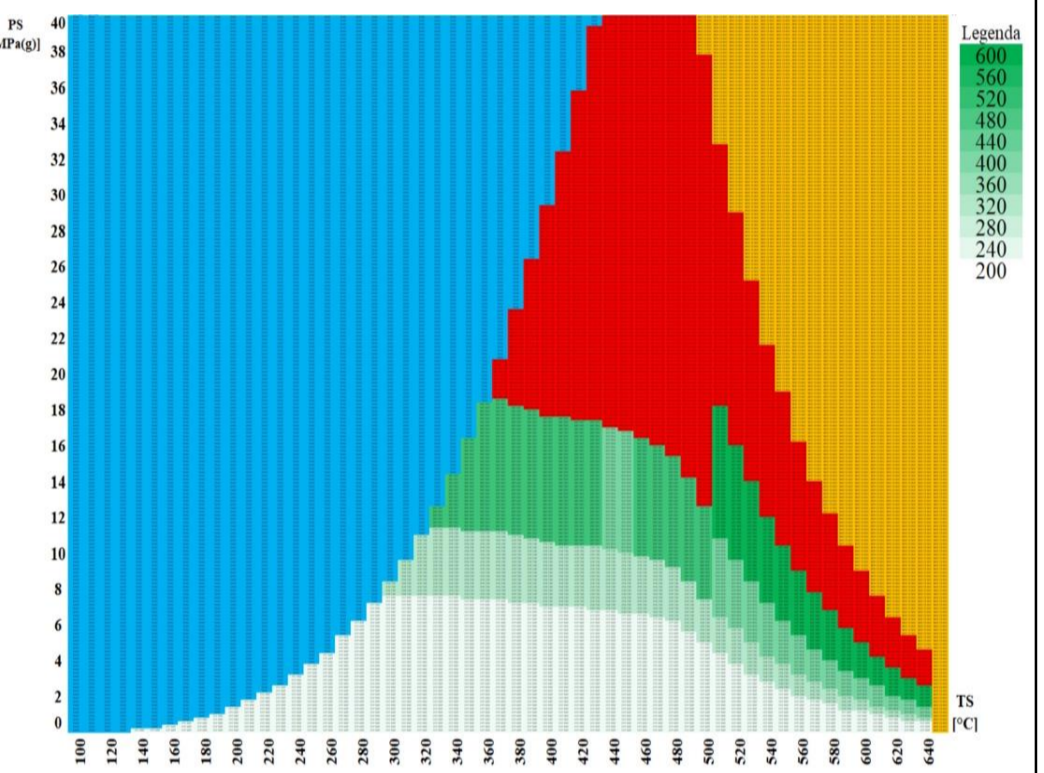
**16Mo3**



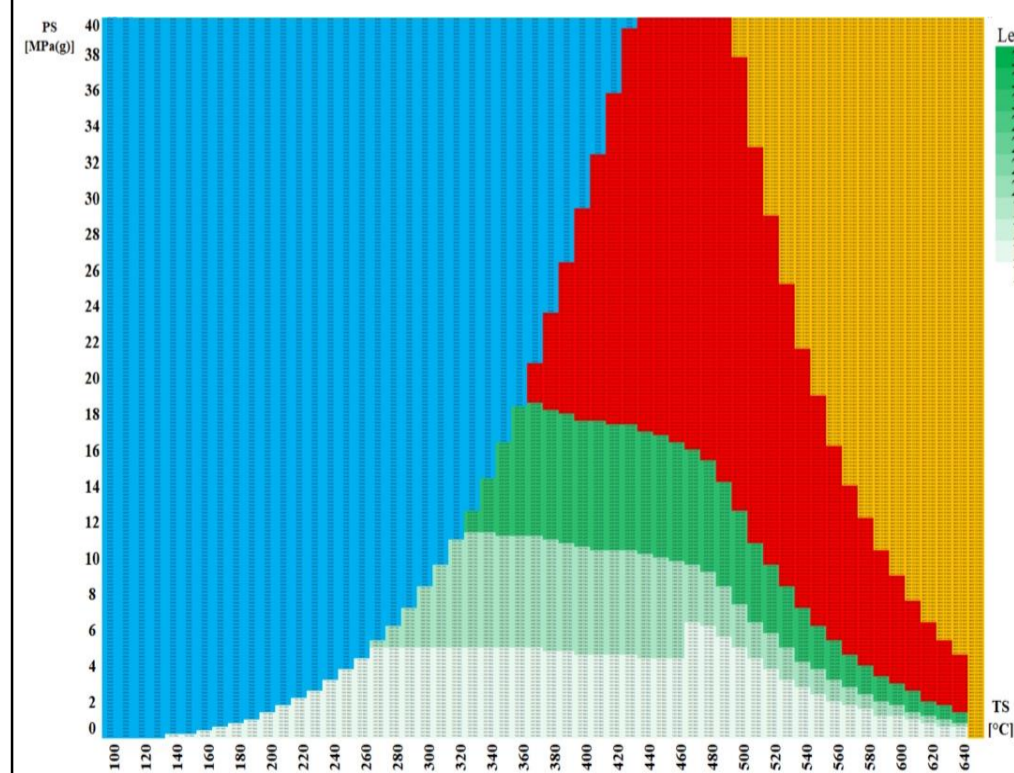
**A335-P1**



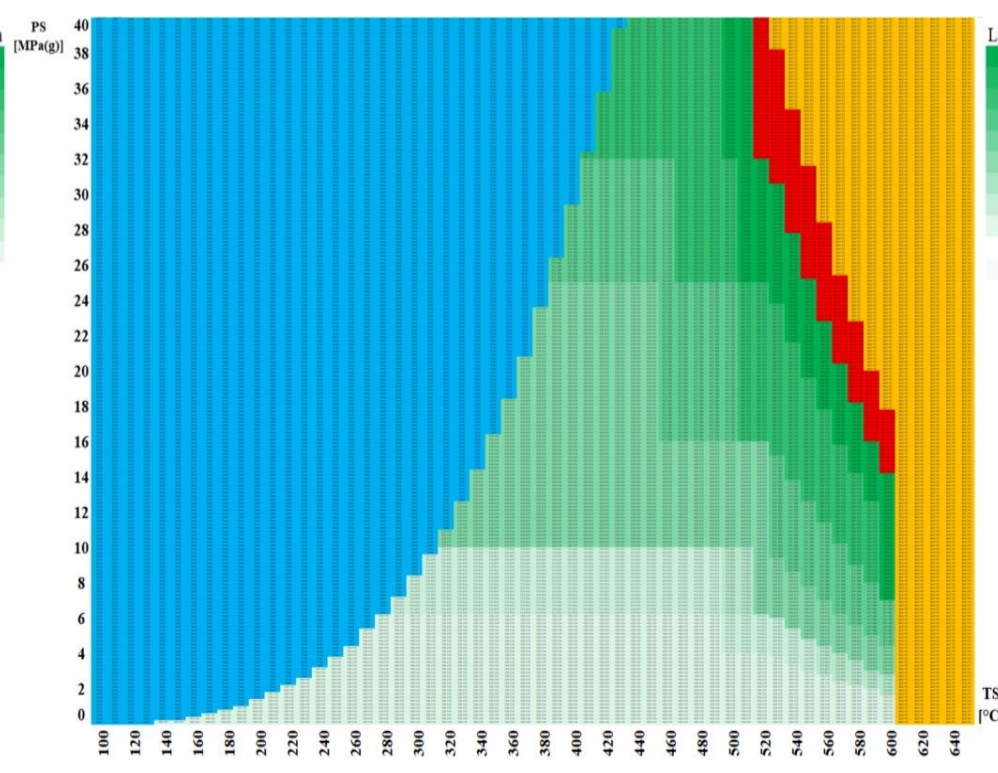
**10CrMo9-10**



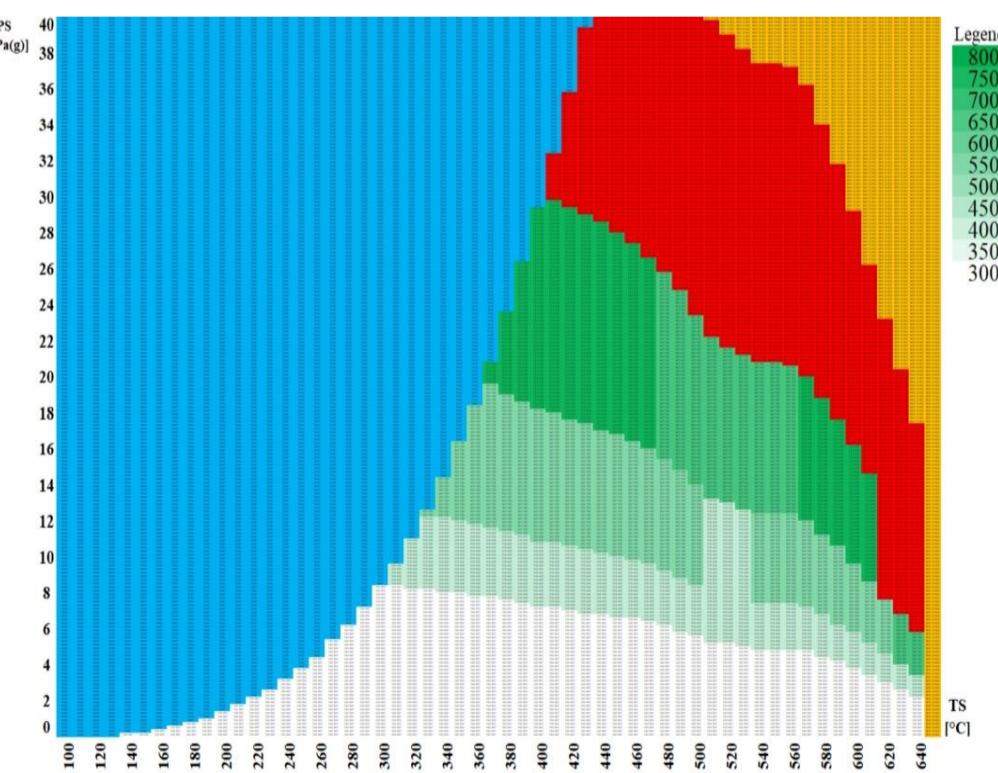
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



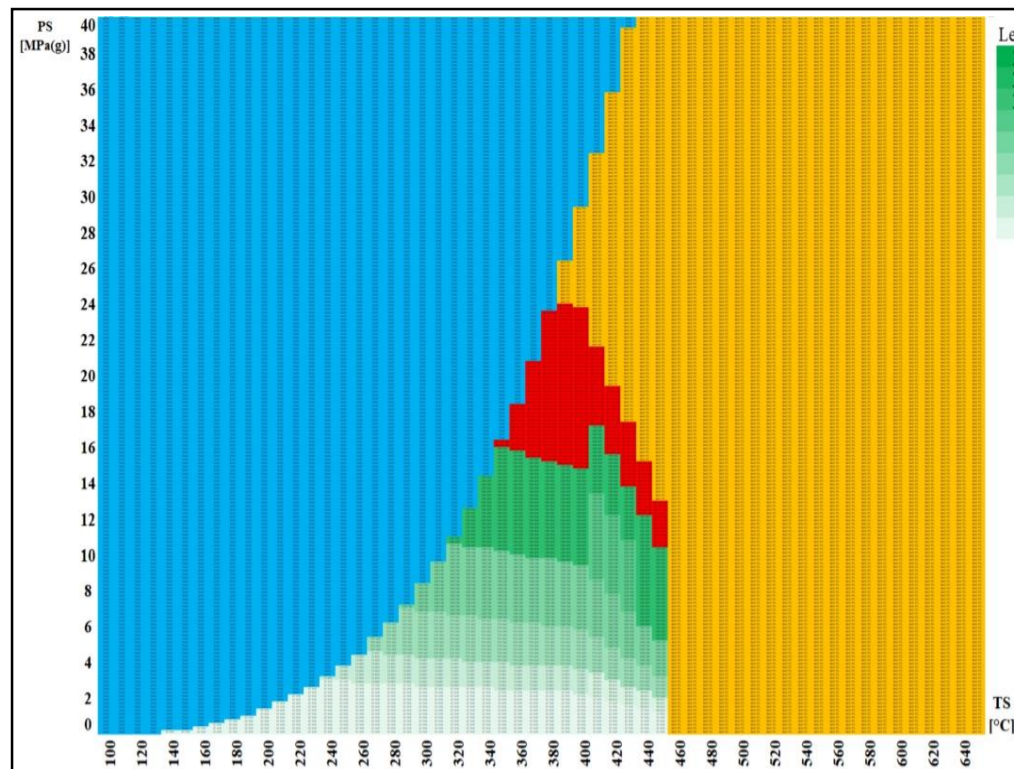
**A335 – P91**

***DN 125 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

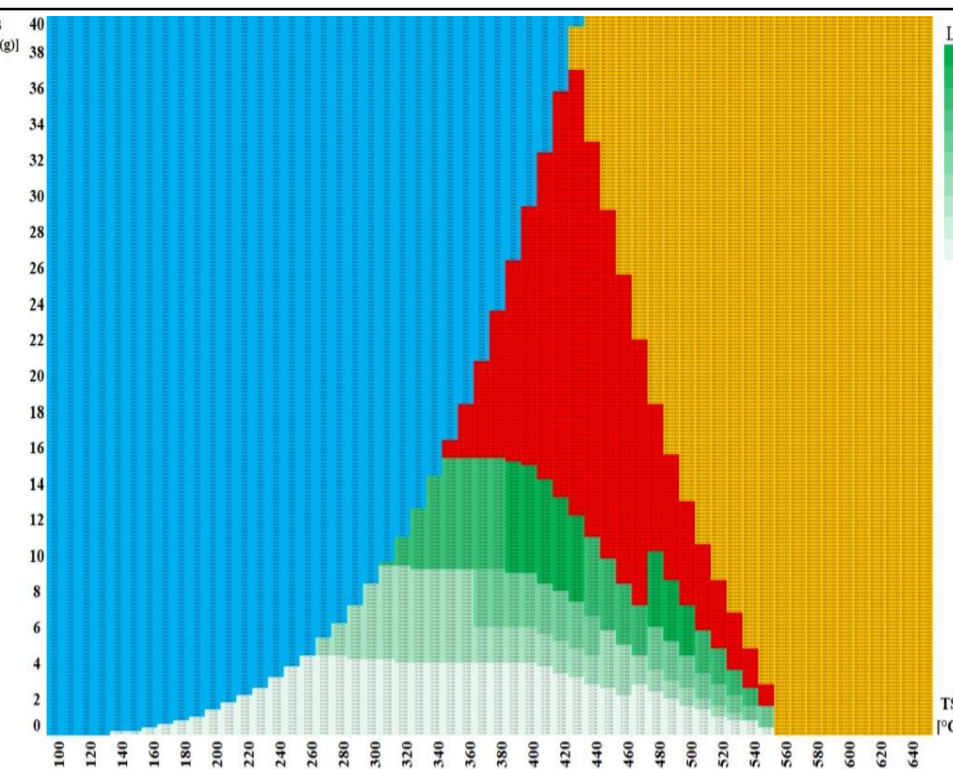
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

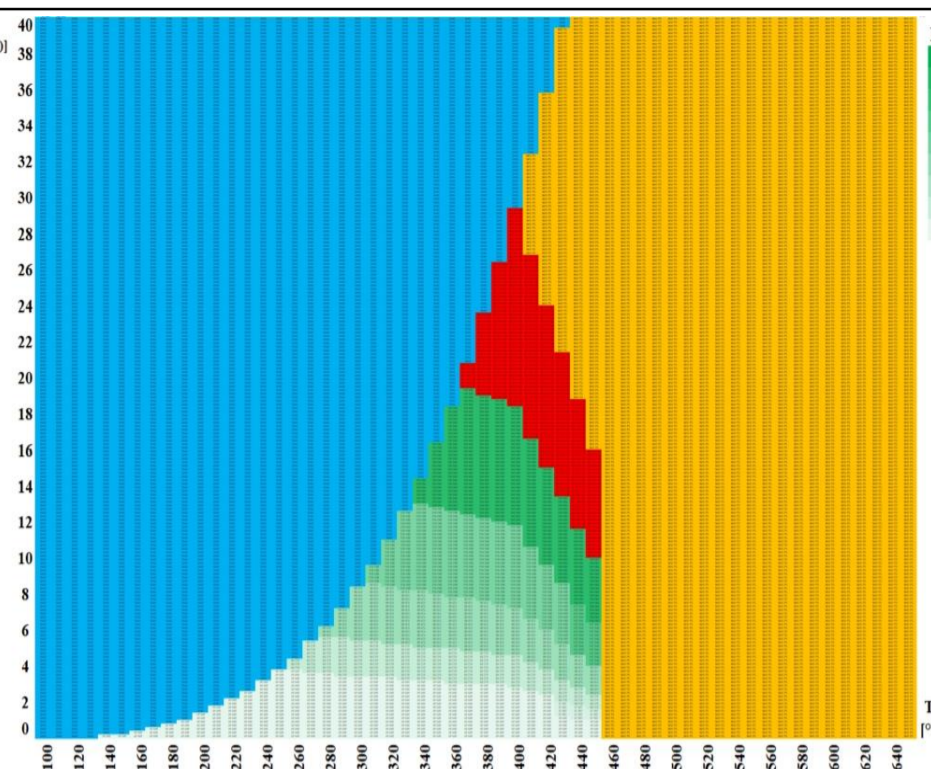
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



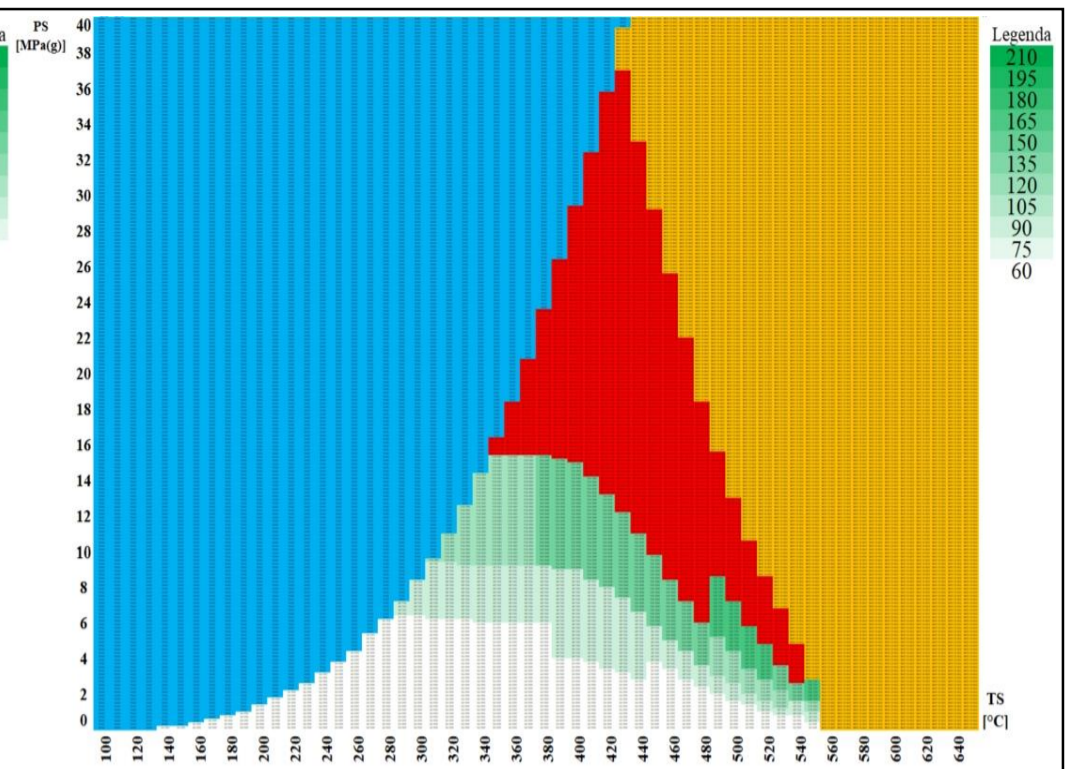
**P235GH**



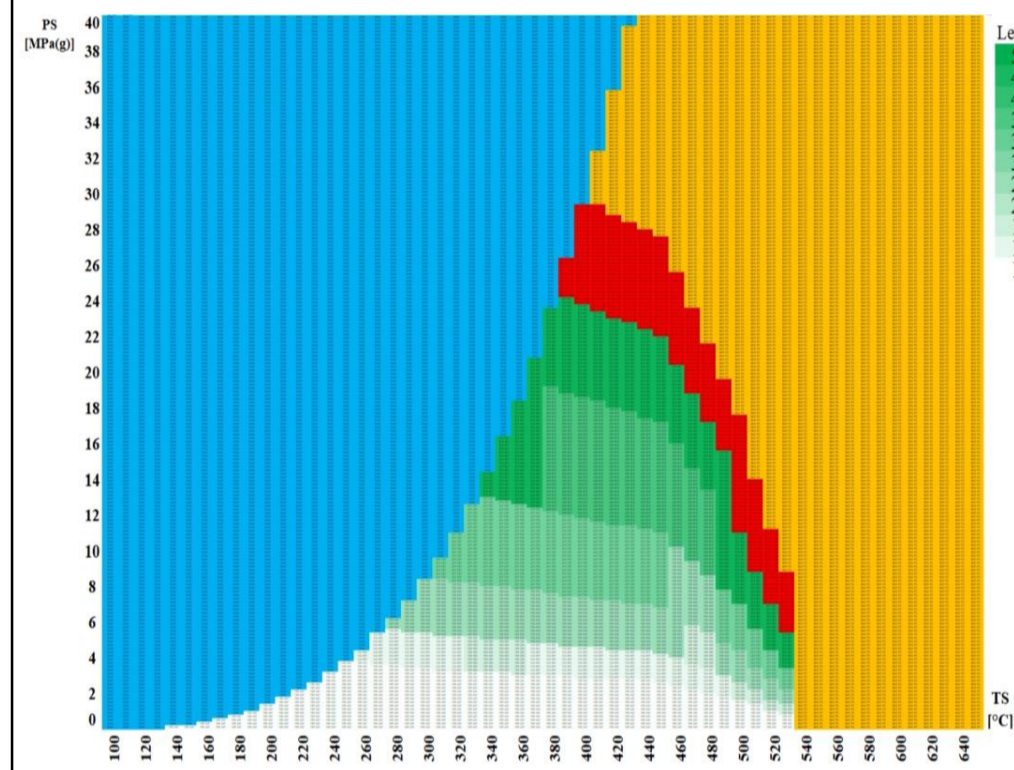
**A106-A**



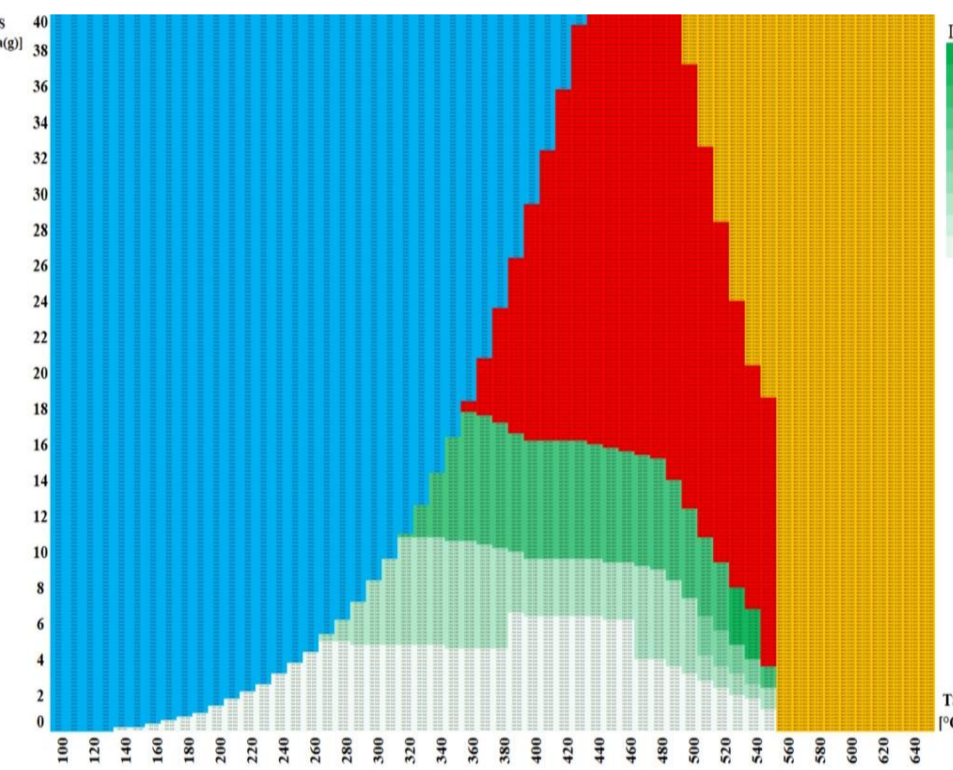
**P265GH**



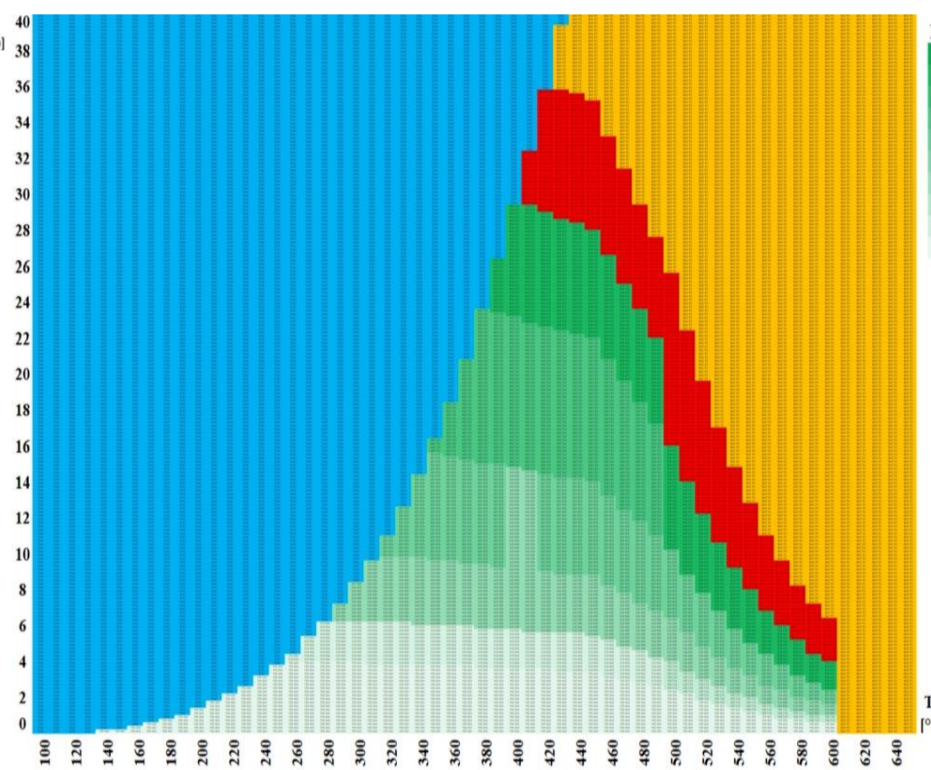
**A106-B**



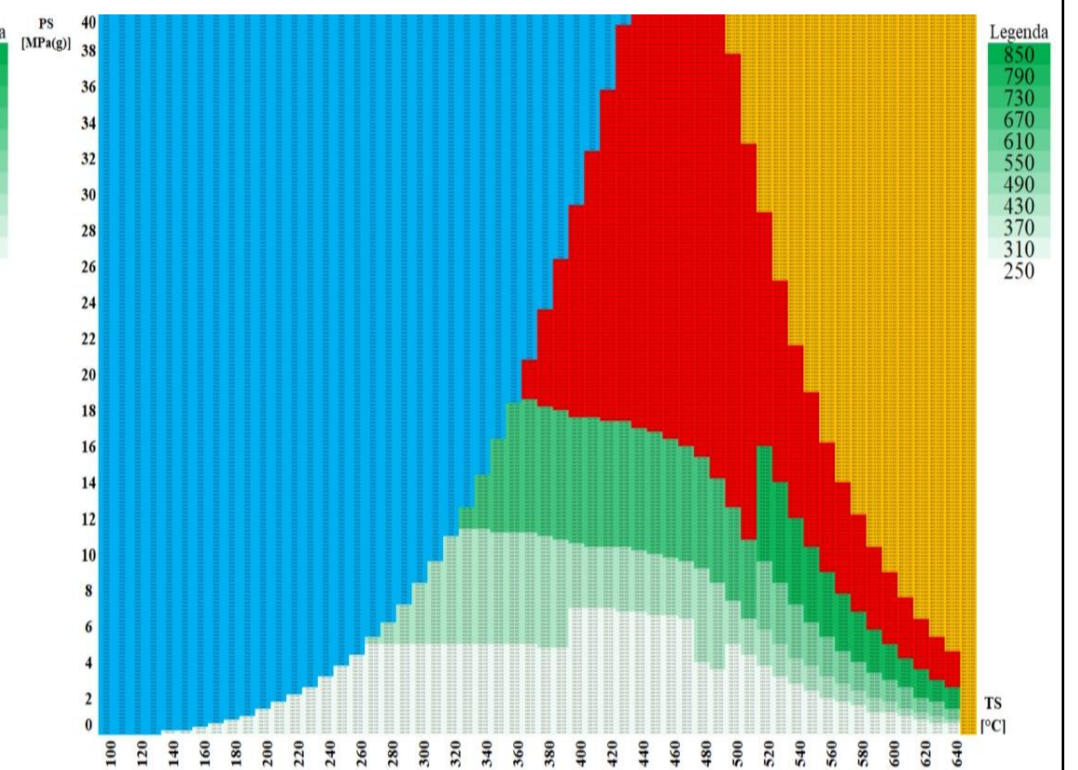
**16Mo3**



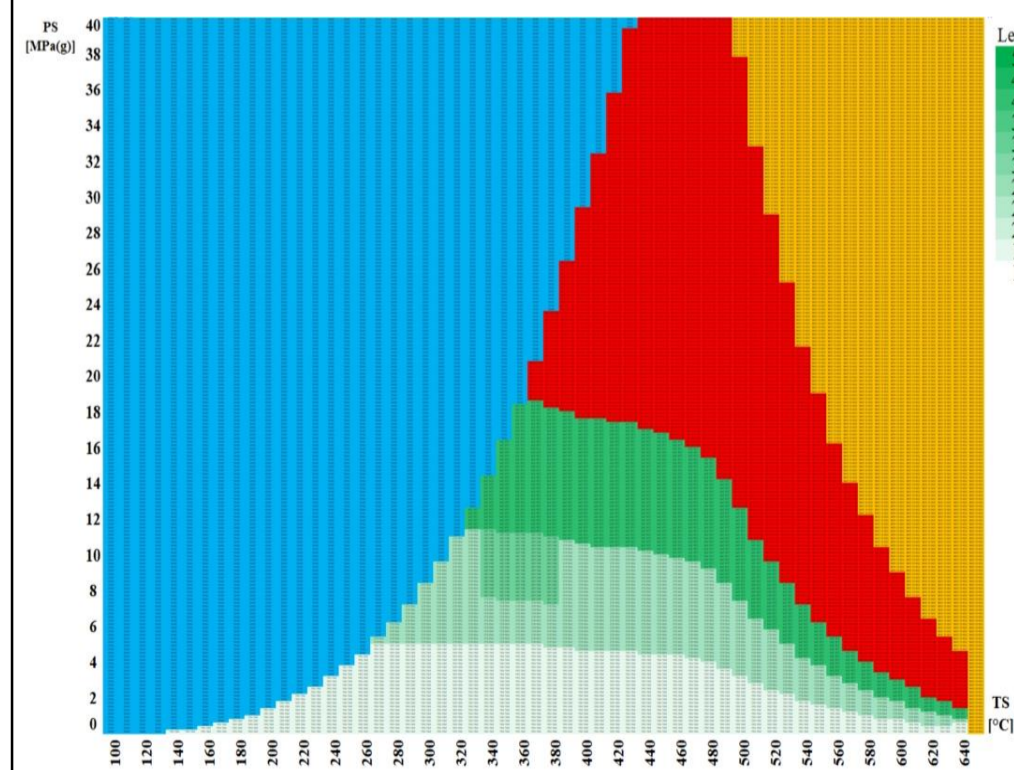
**A335-P1**



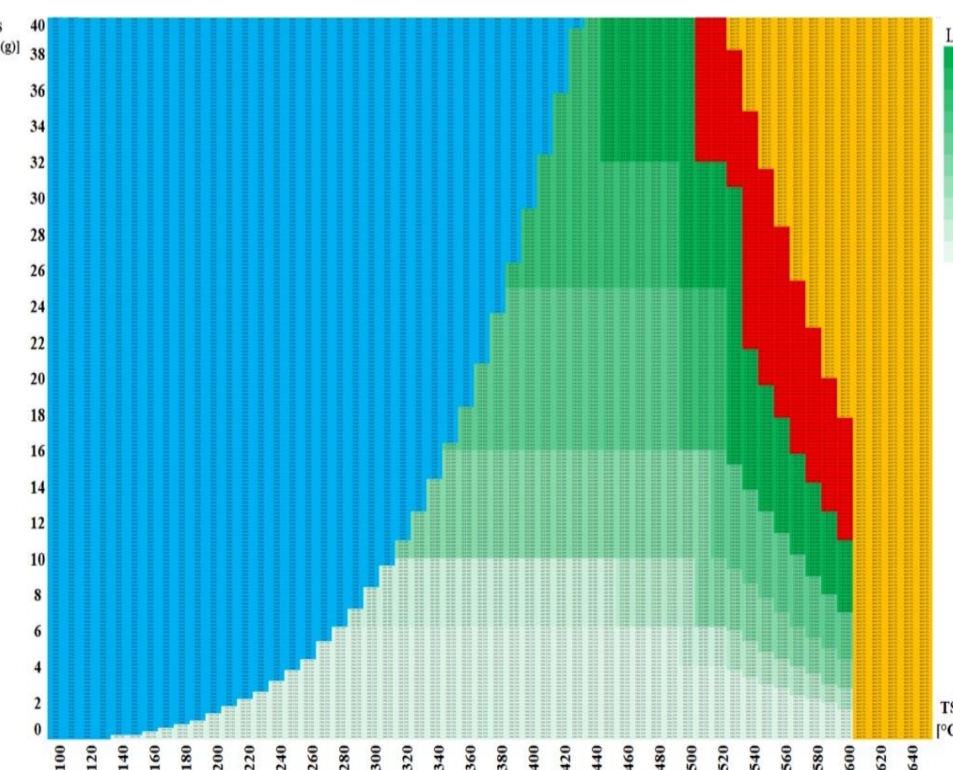
**10CrMo9-10**



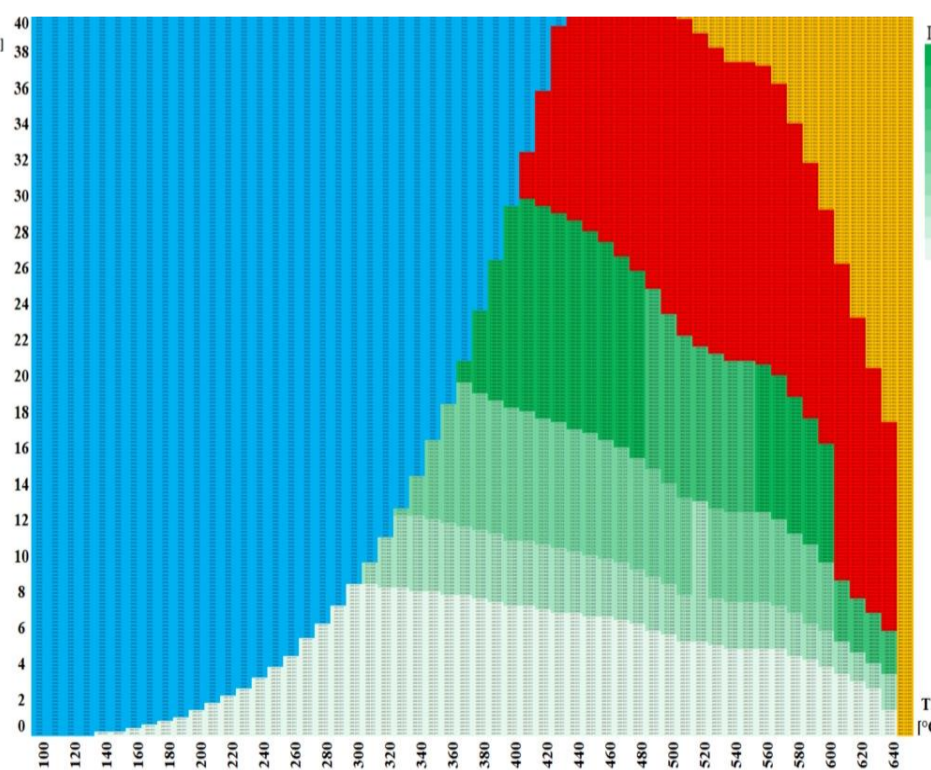
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



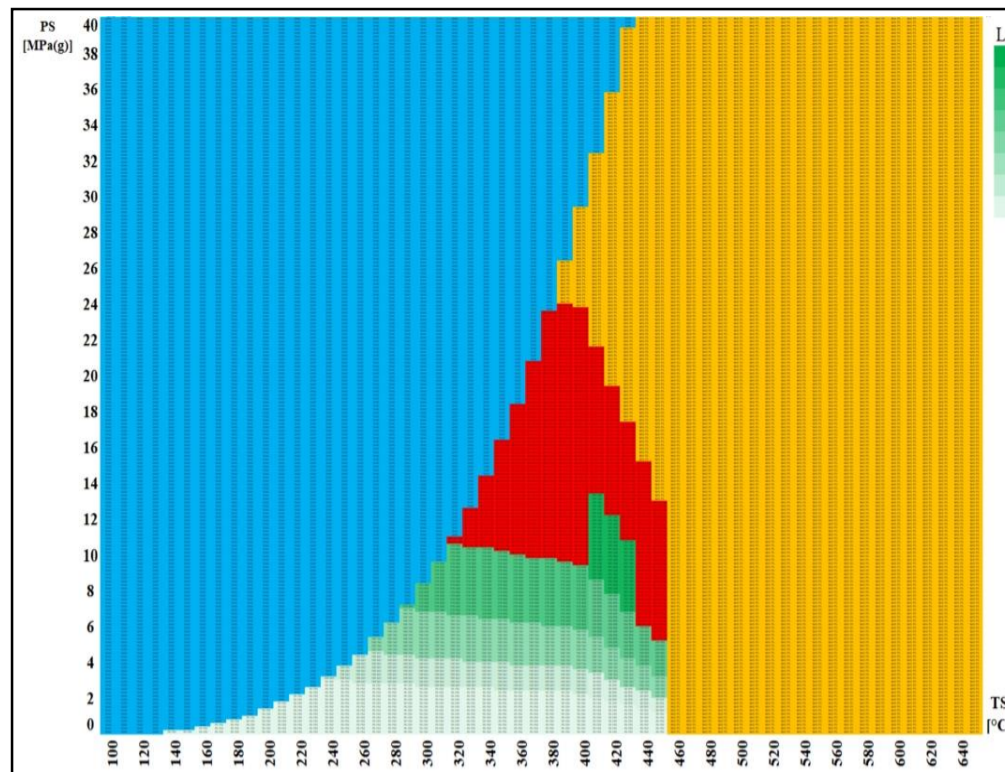
**A335 – P91**

*DN 150 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]*

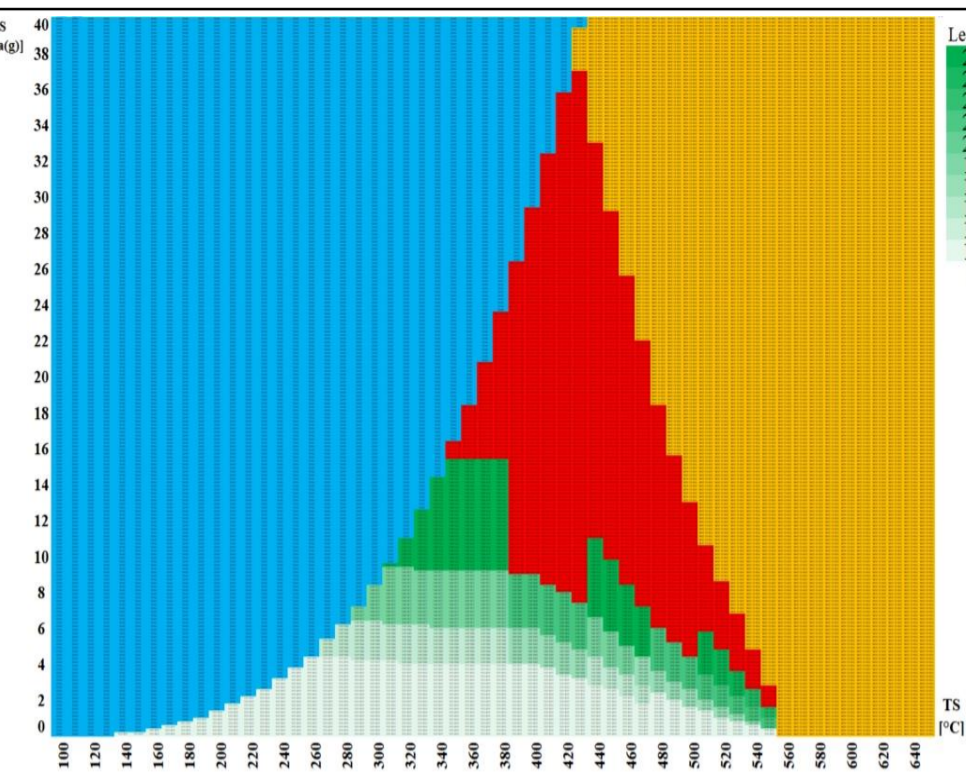
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

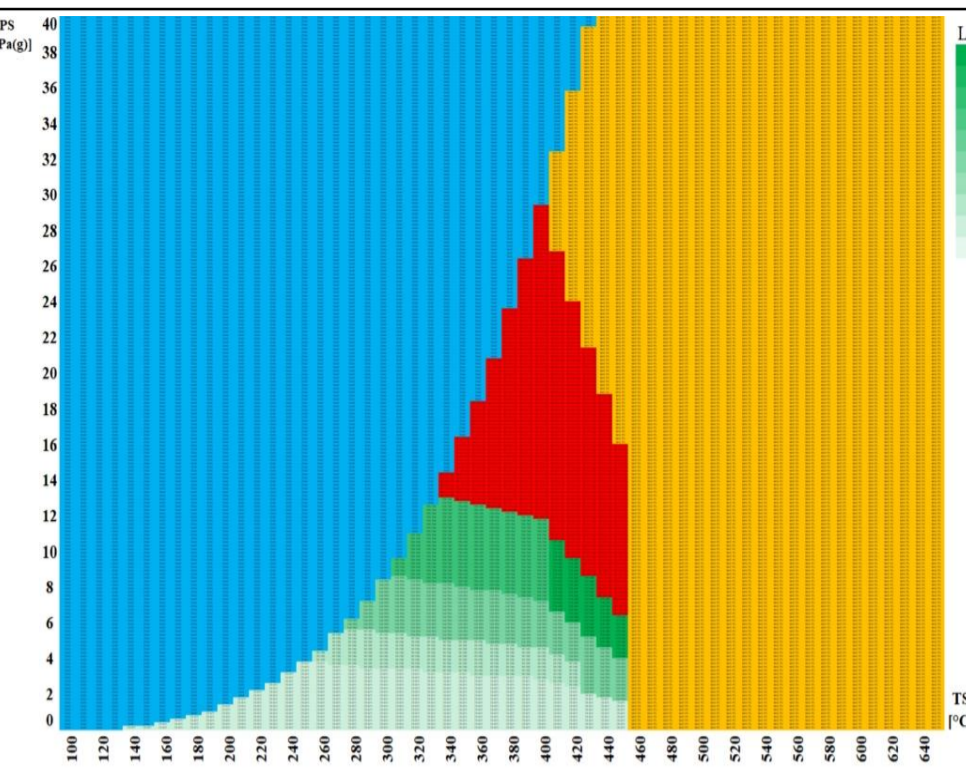
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



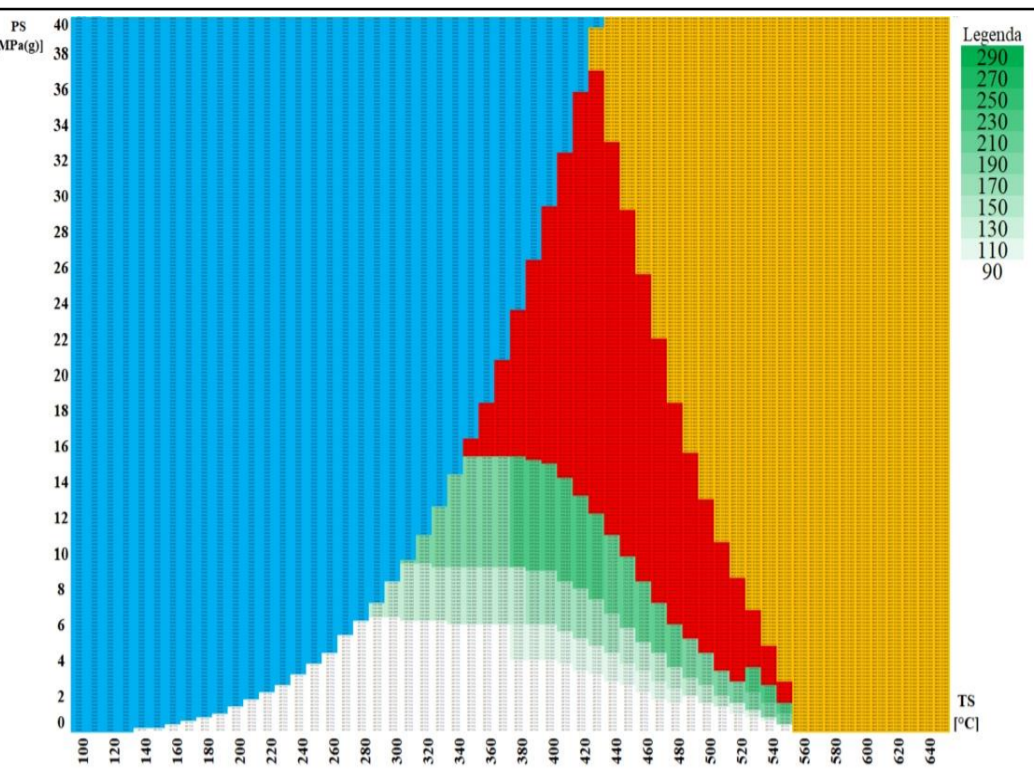
**P235GH**



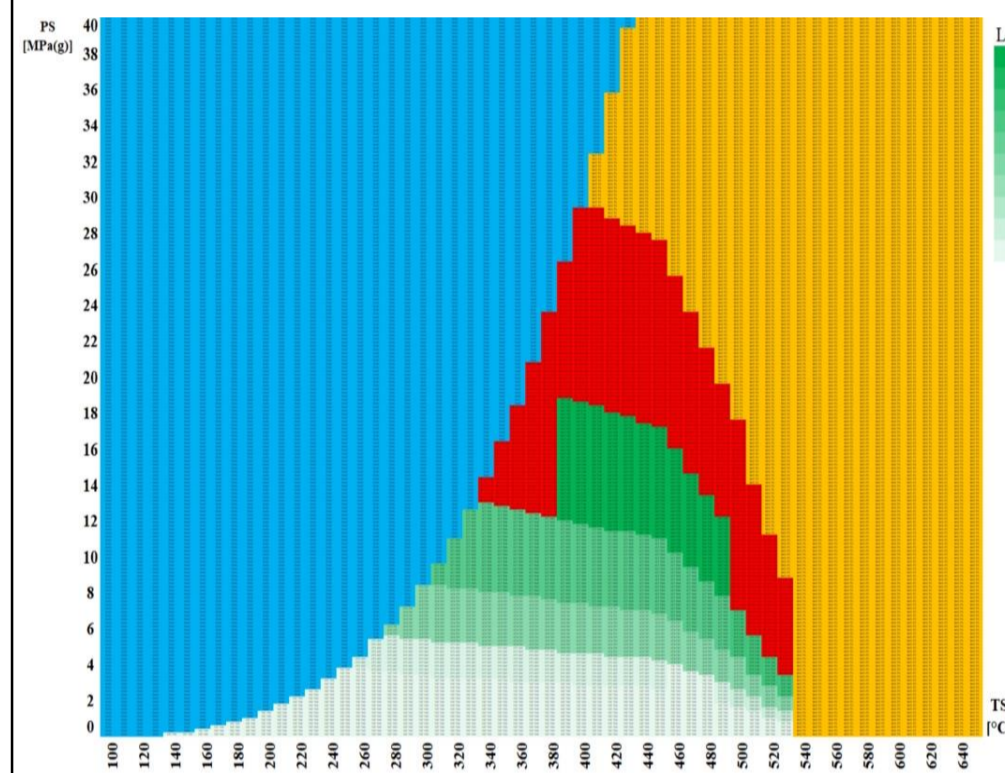
**A106-A**



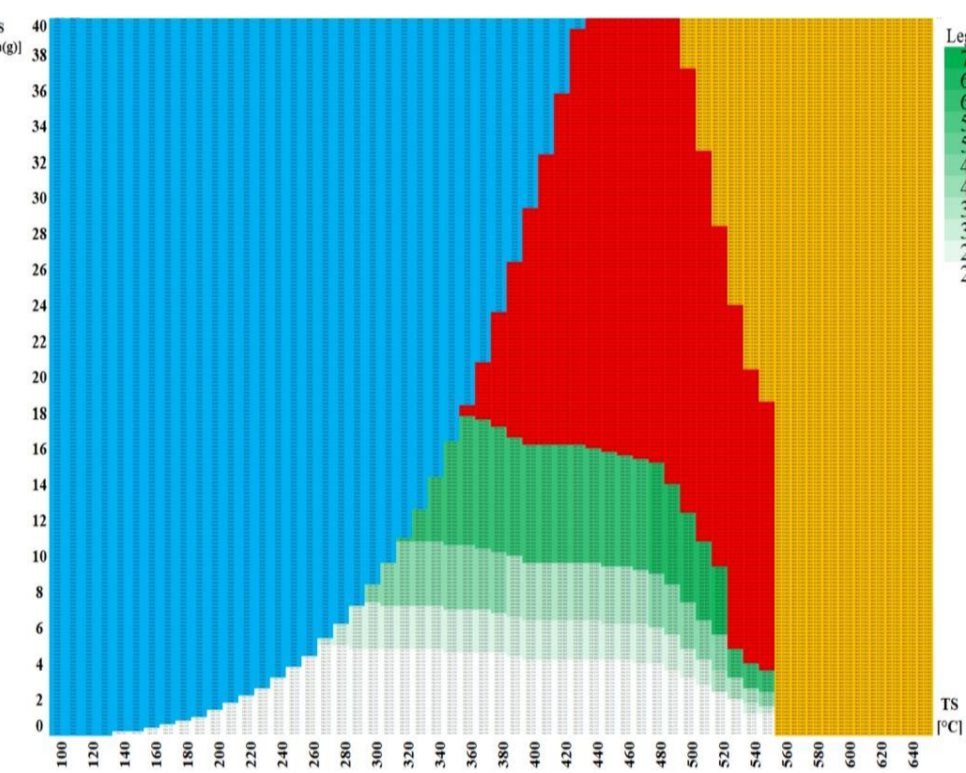
**P265GH**



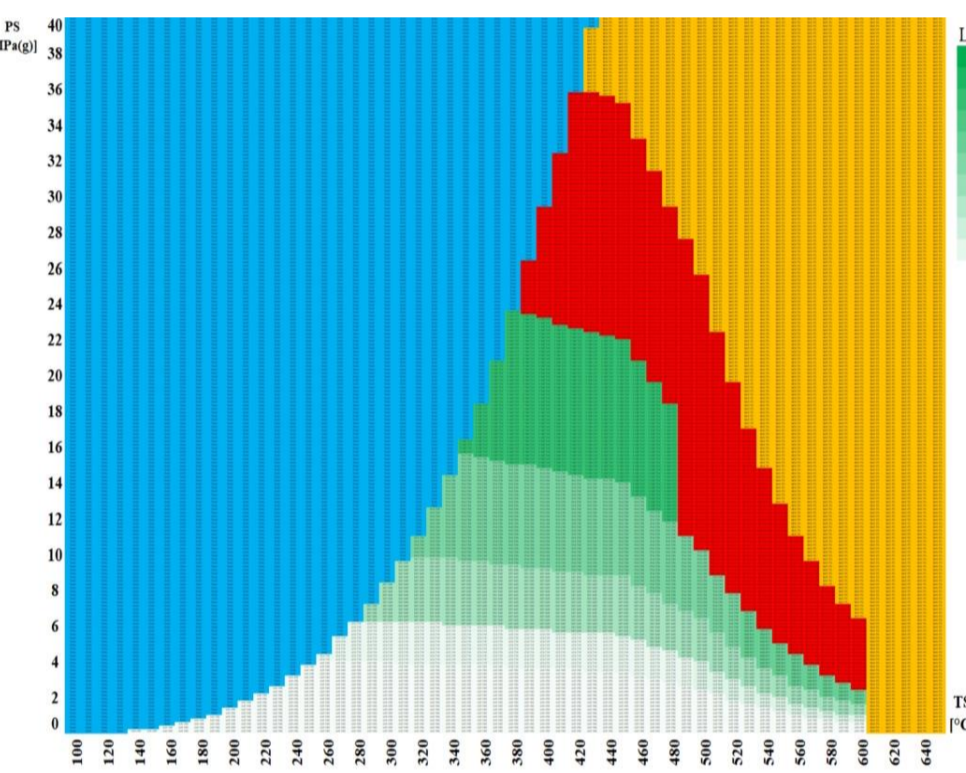
**A106-B**



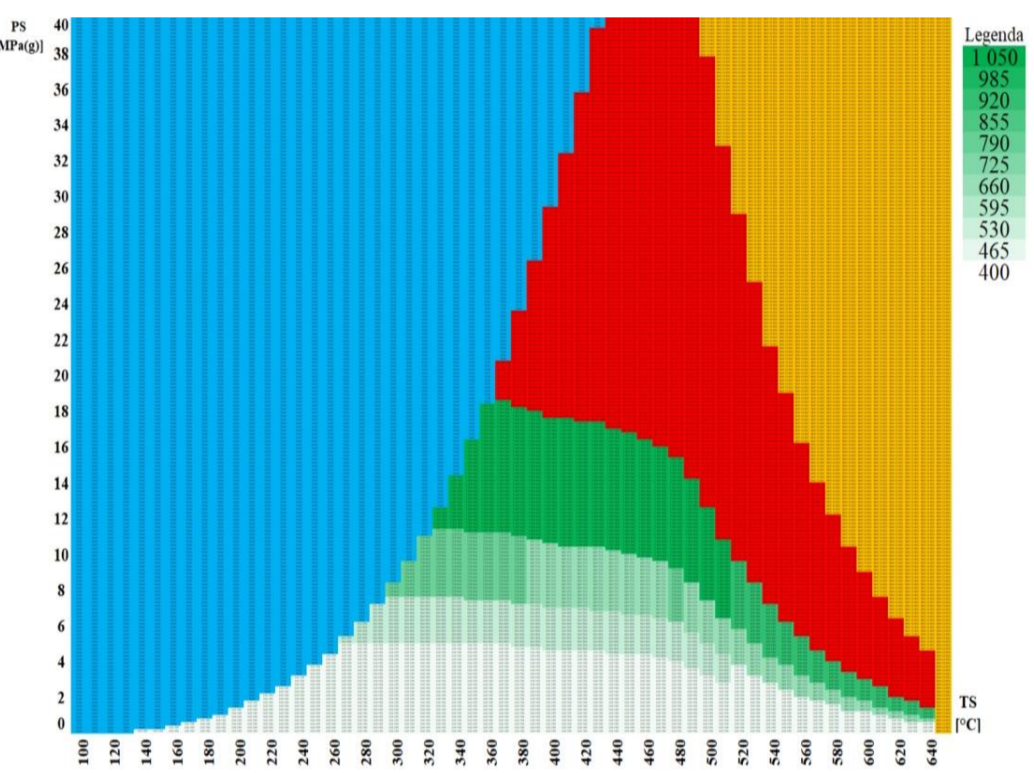
**16Mo3**



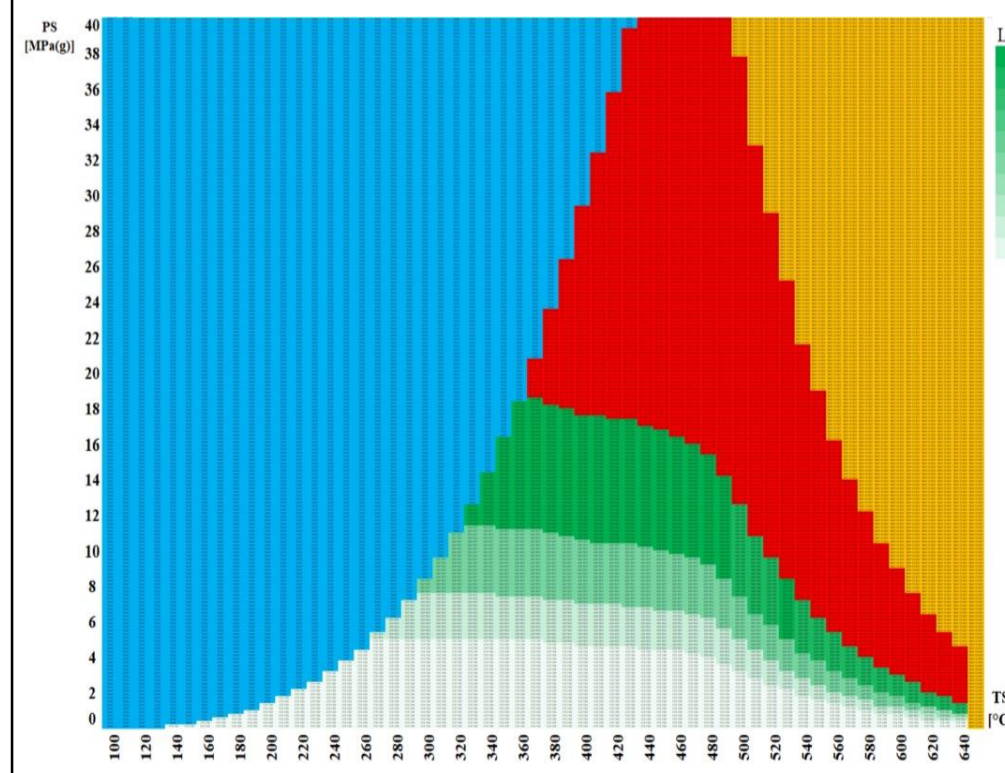
**A335-P1**



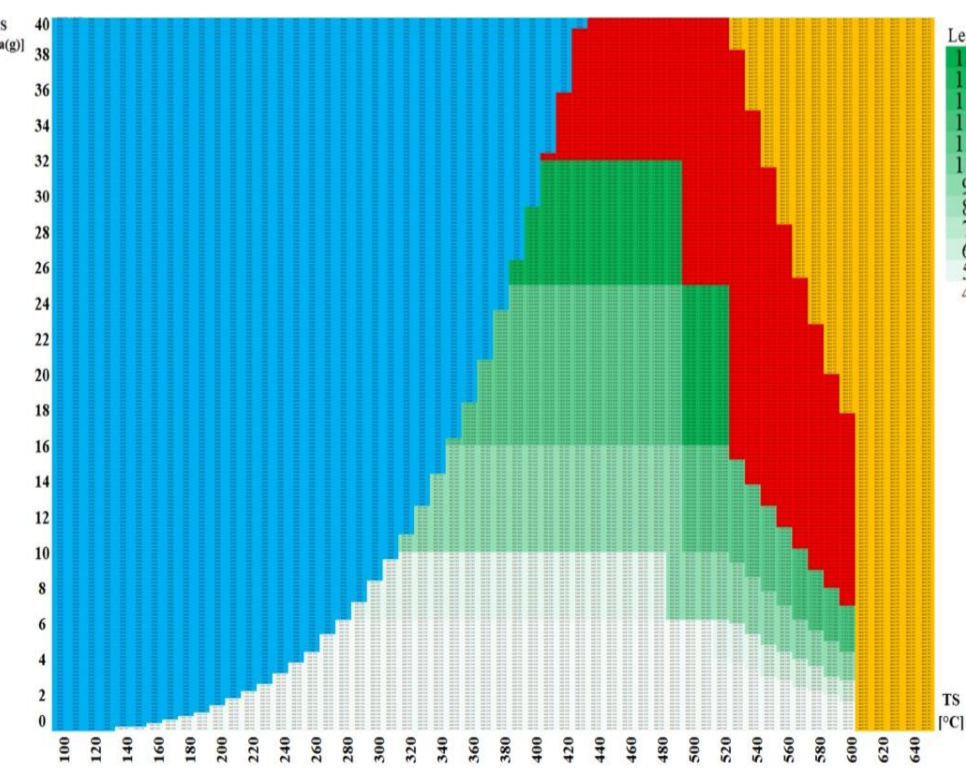
**10CrMo9-10**



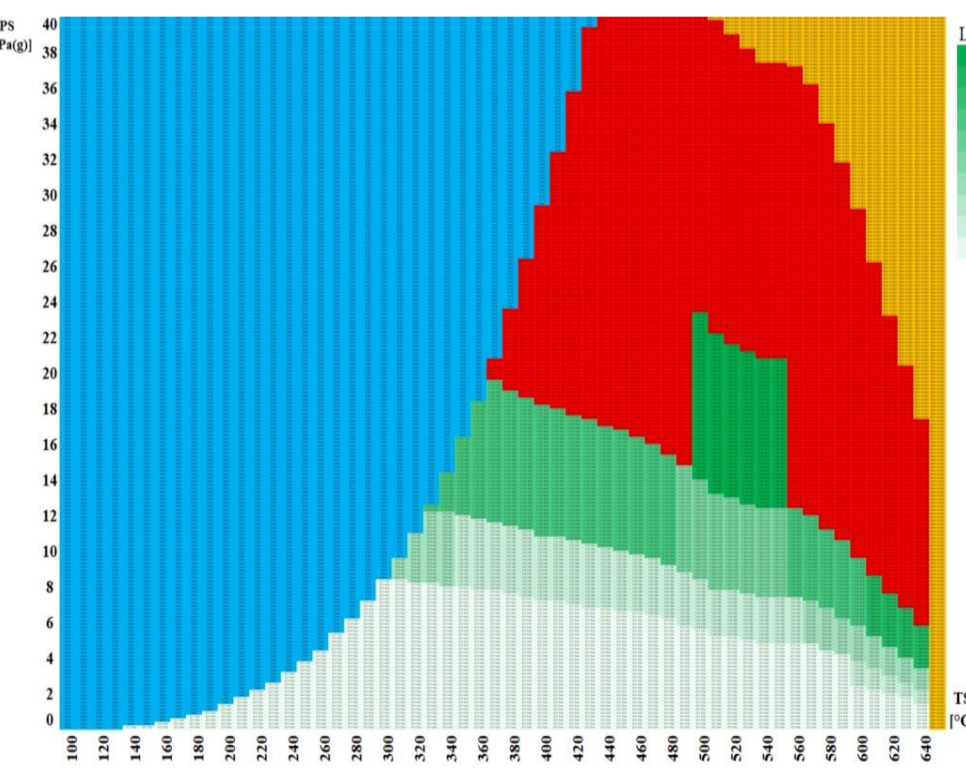
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

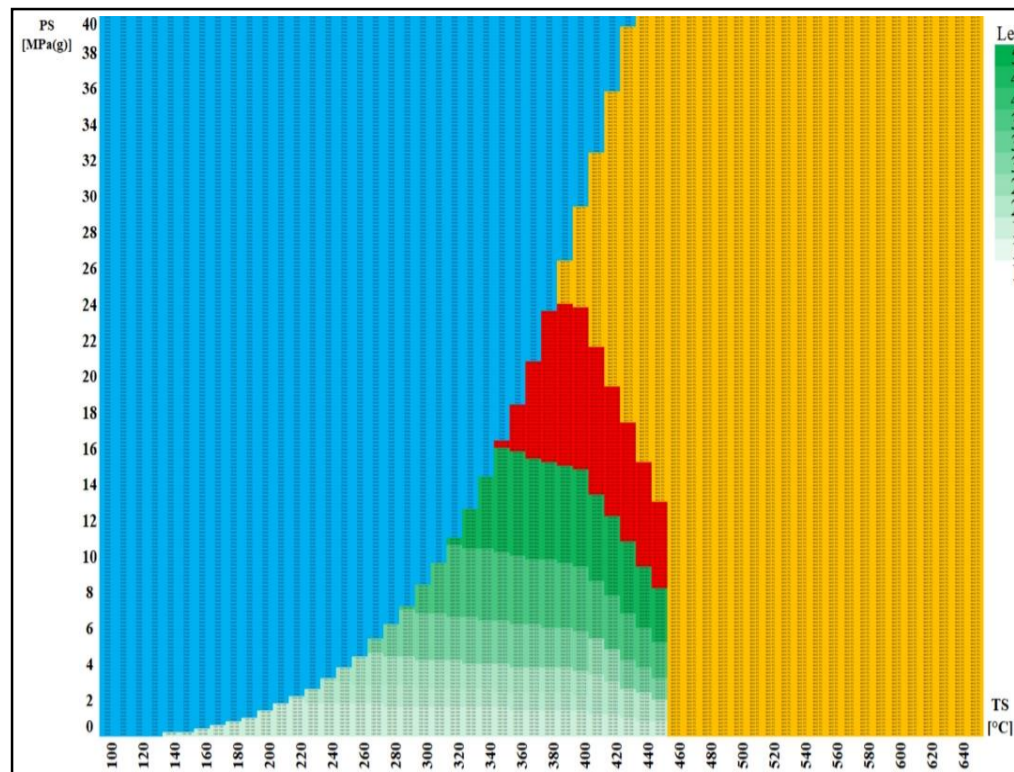
***DN 200 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

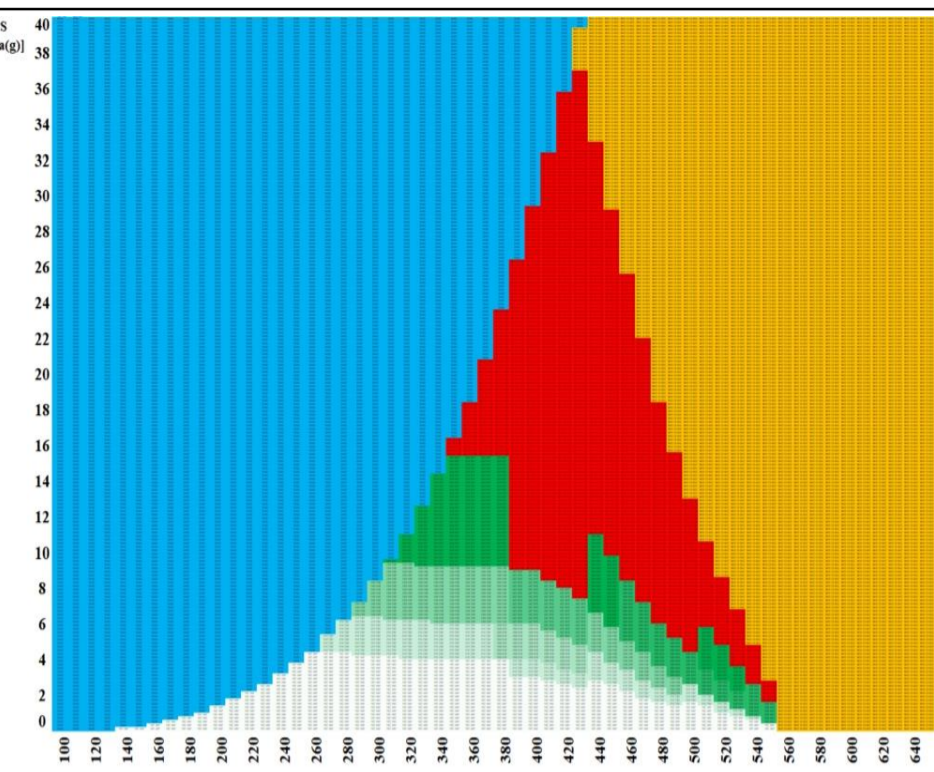
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

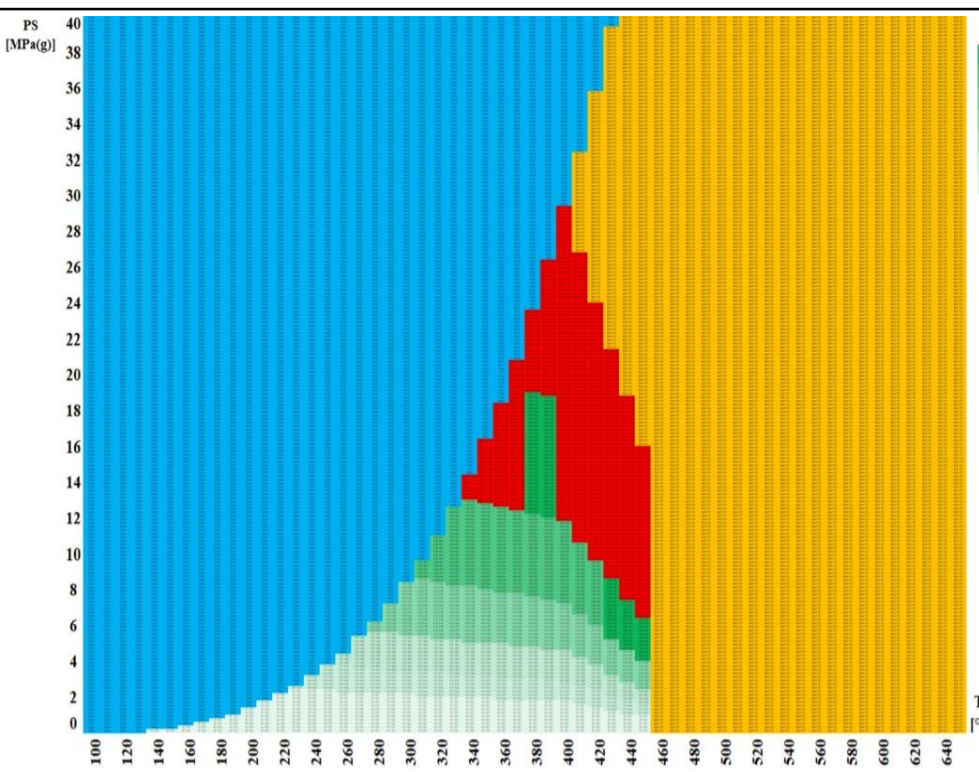




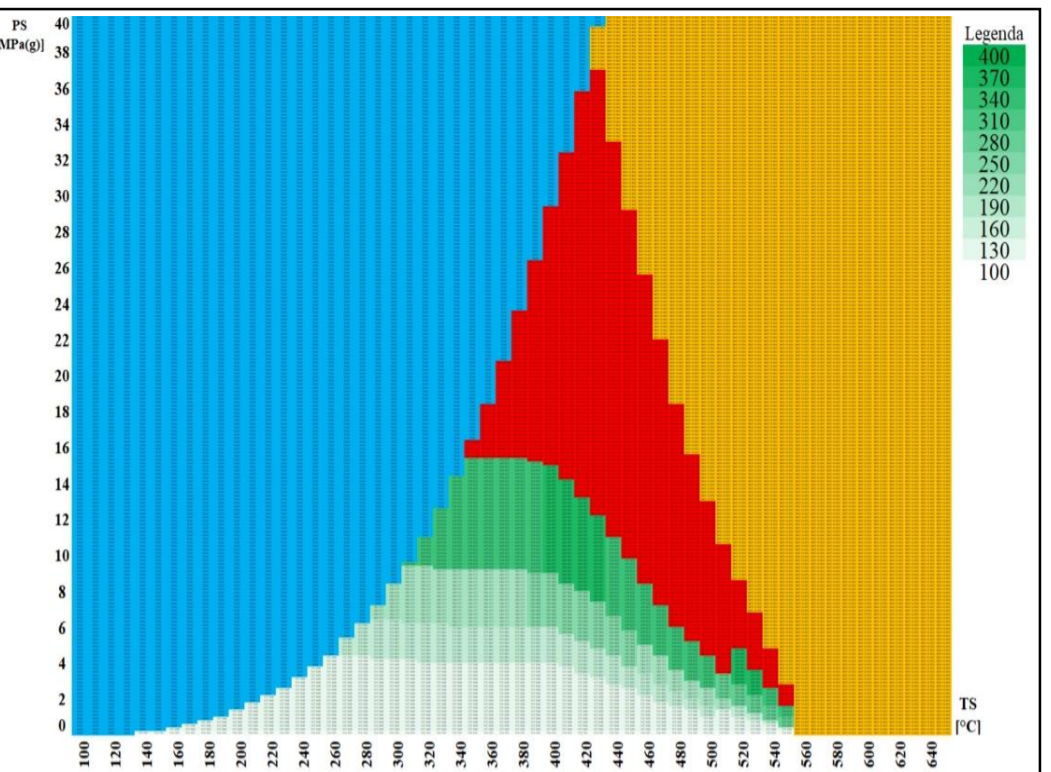
**P235GH**



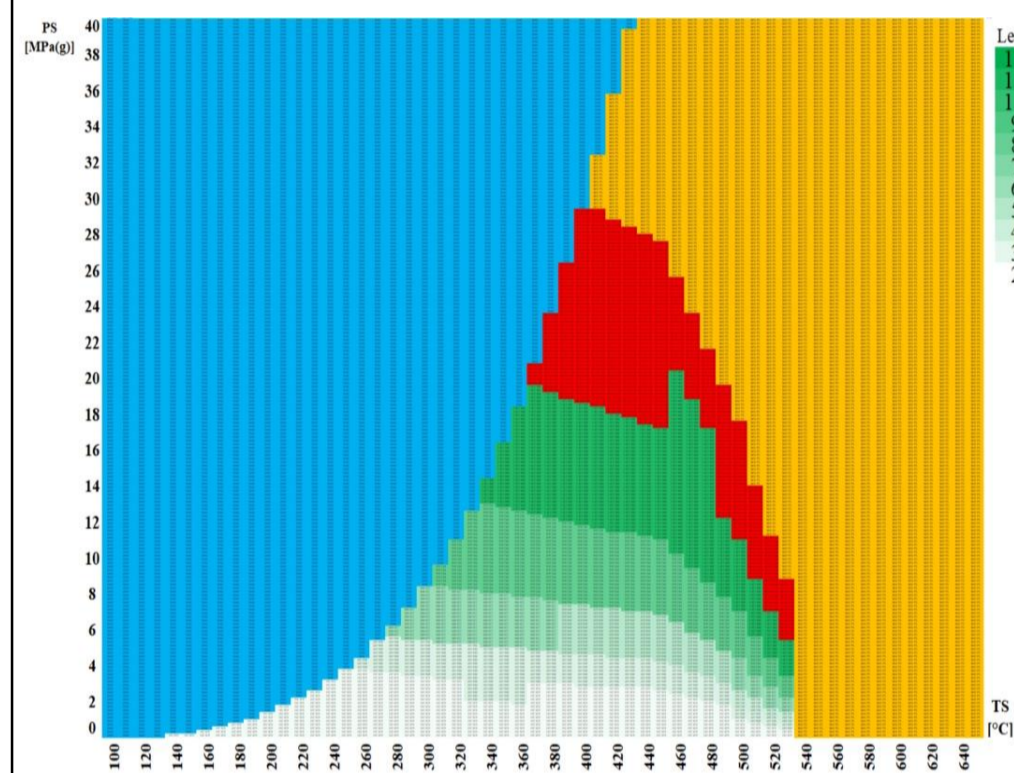
**A106-A**



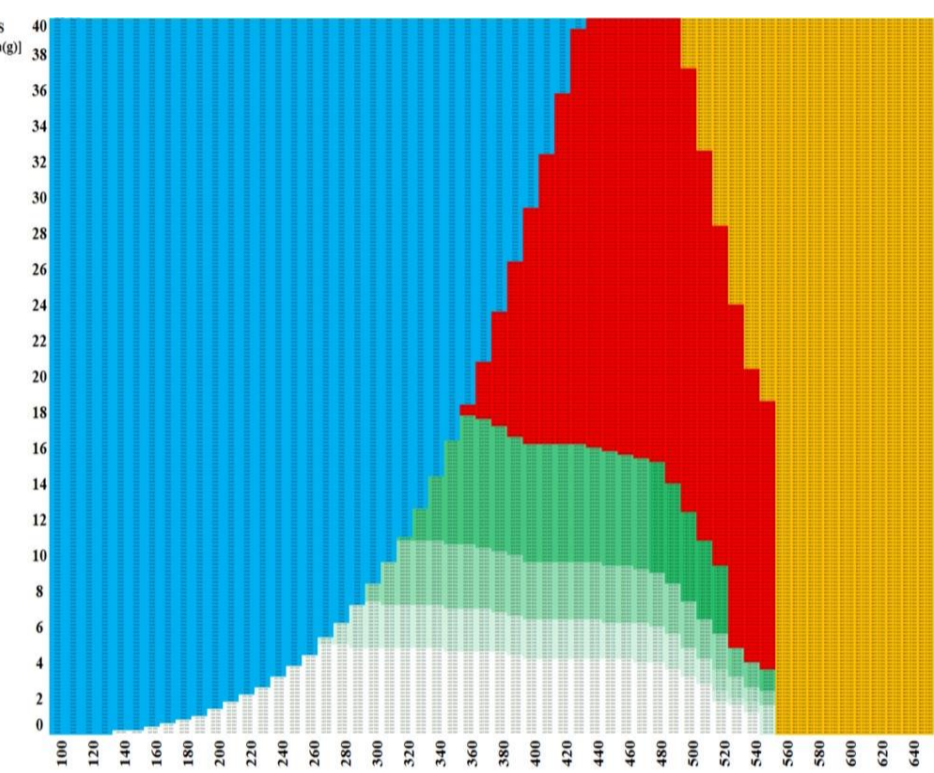
**P265GH**



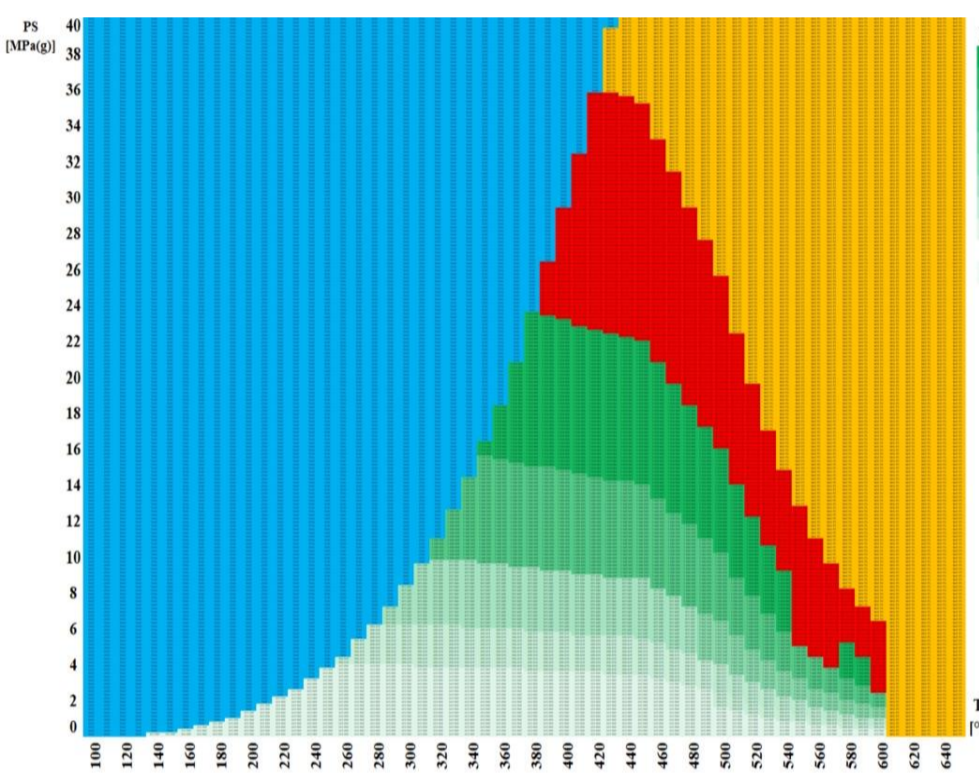
**A106-B**



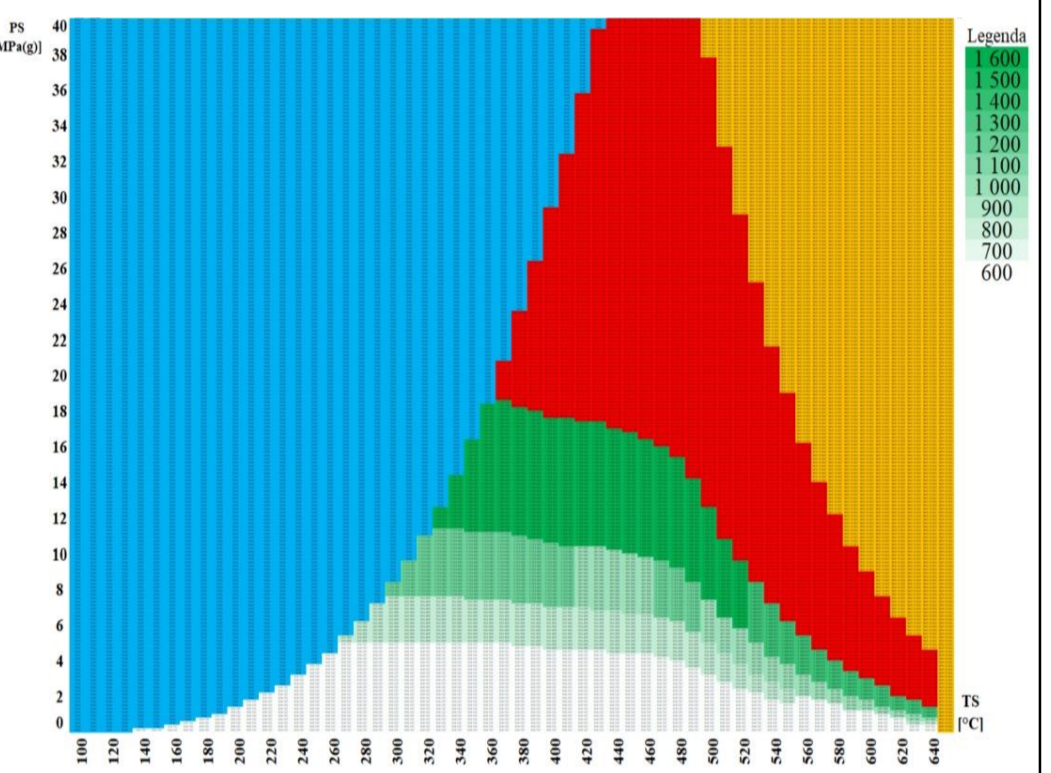
**16Mo3**



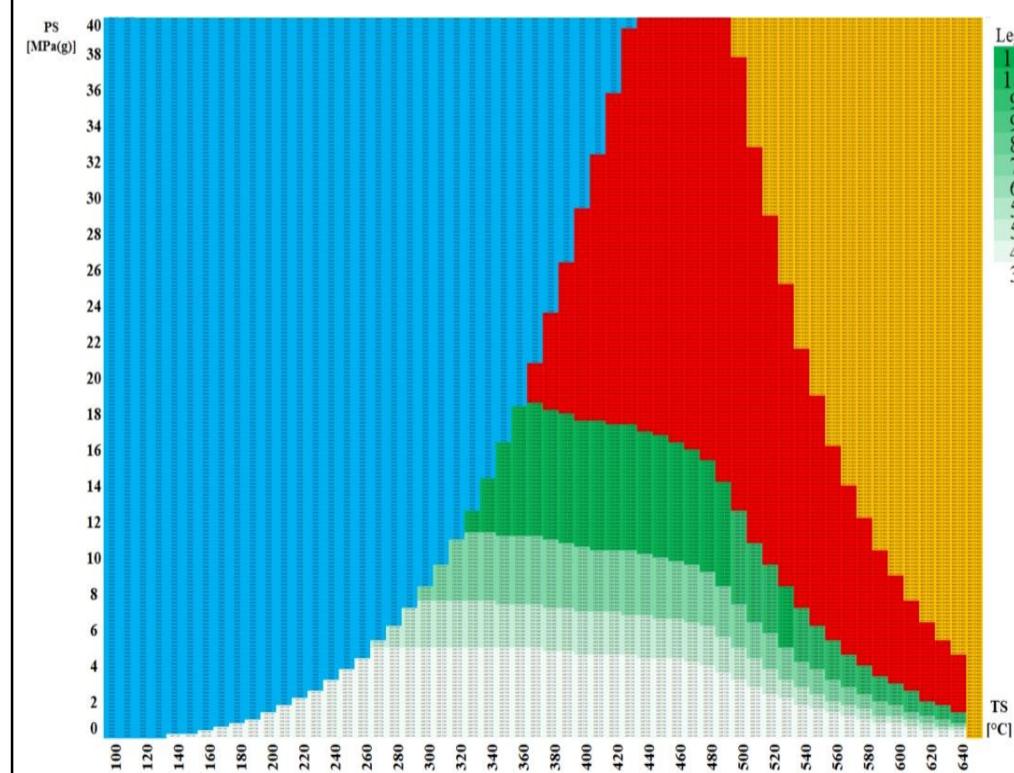
**A335-P1**



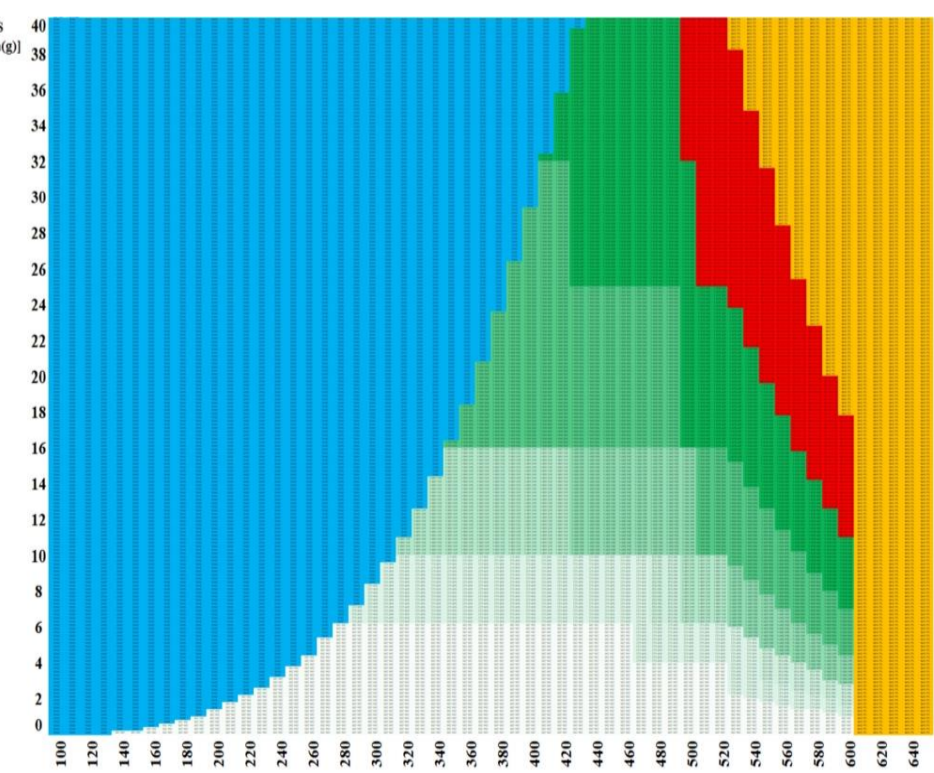
**10CrMo9-10**



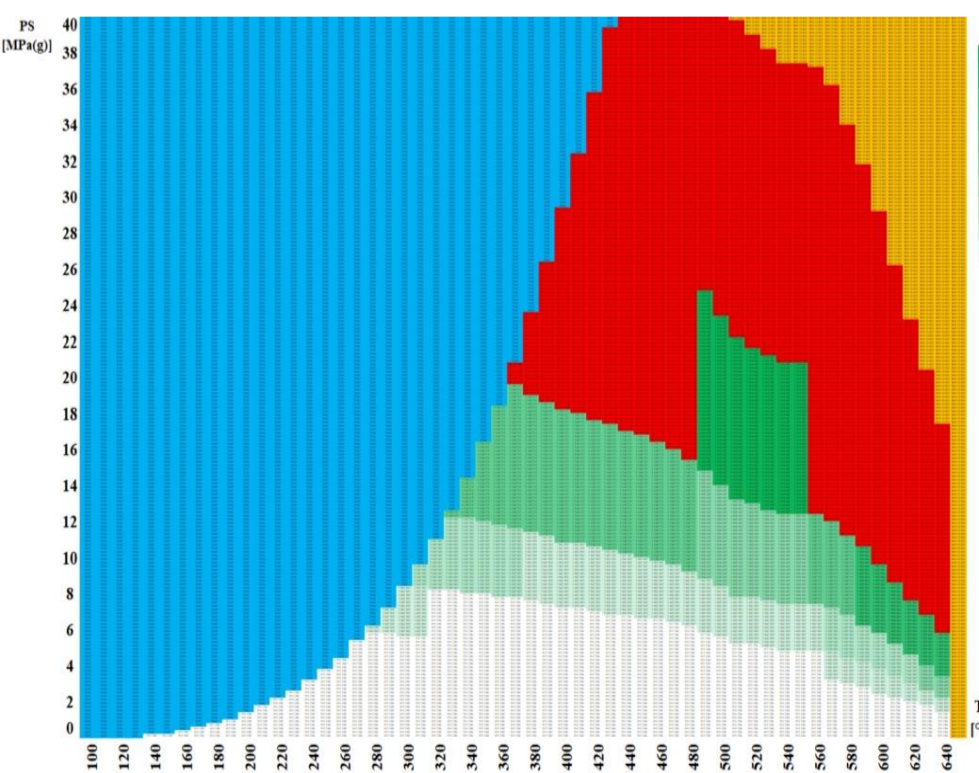
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

***DN 250 – Cena za 1 metr přímého potrubí [tis. PJ]***

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

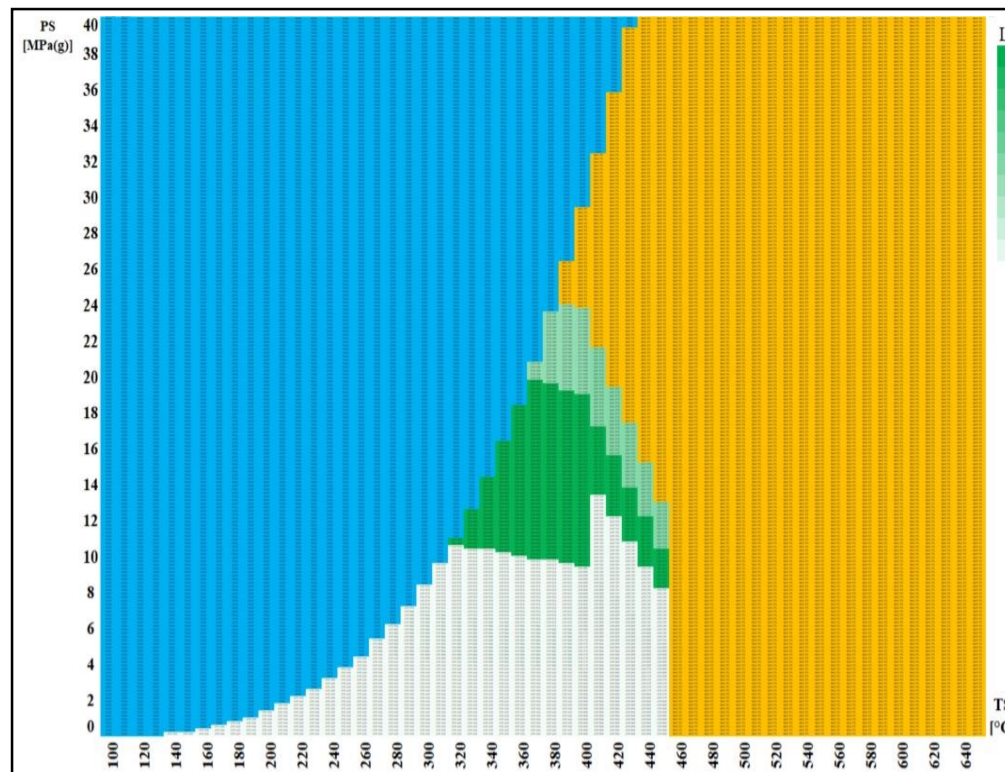
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

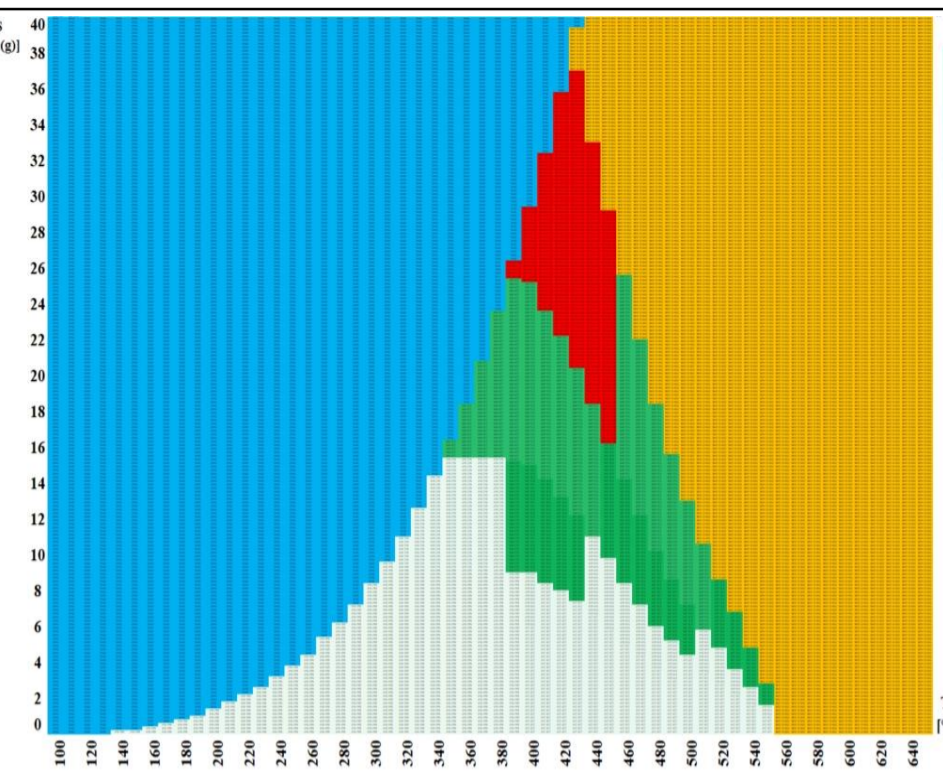
## **Příloha 2.4**

-

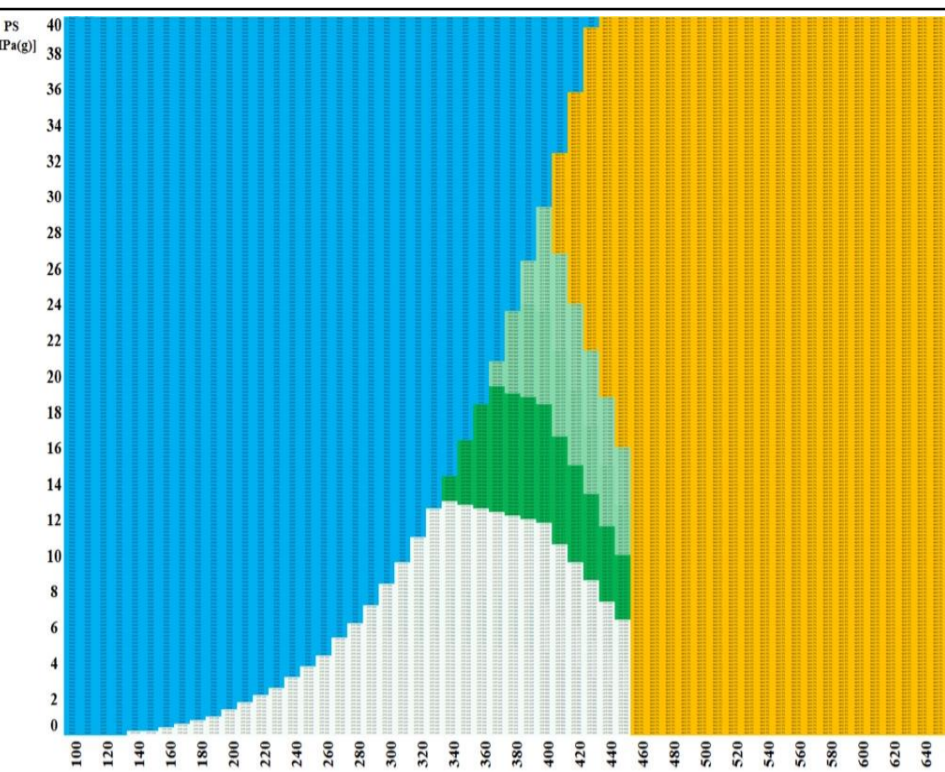
**Cena za provedení 20 obvodových svarů provedených v ČR  
podle parametrů páry**



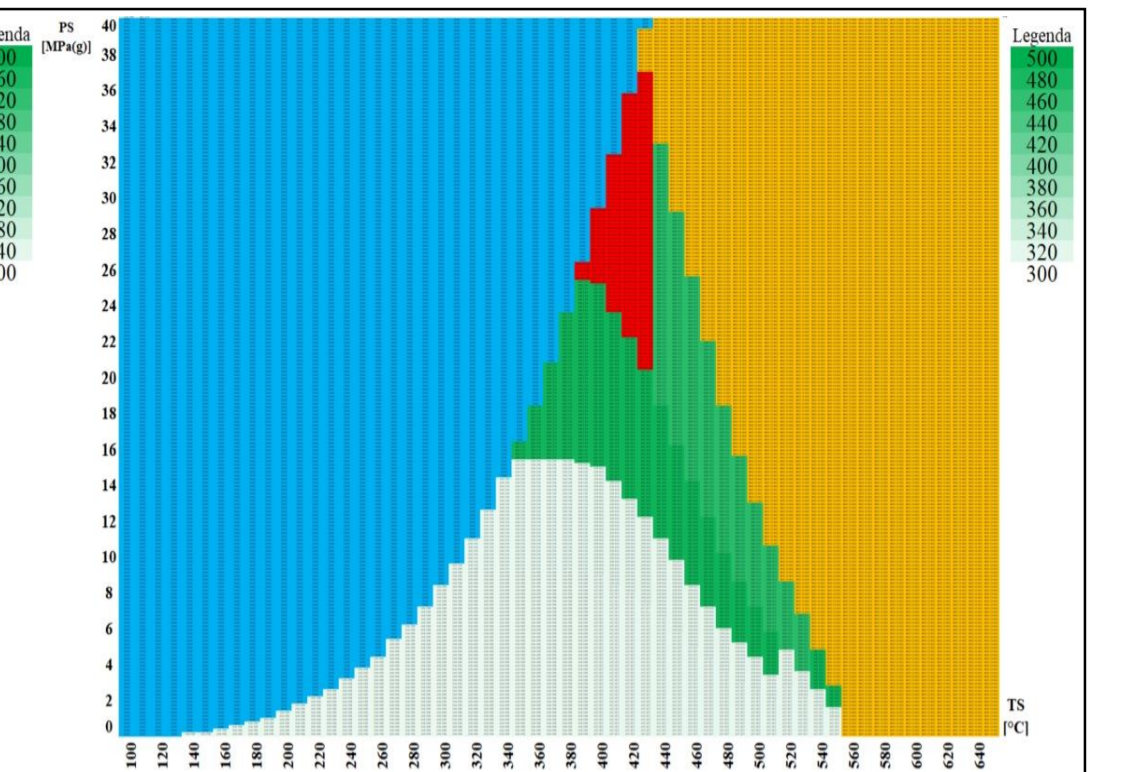
**P235GH**



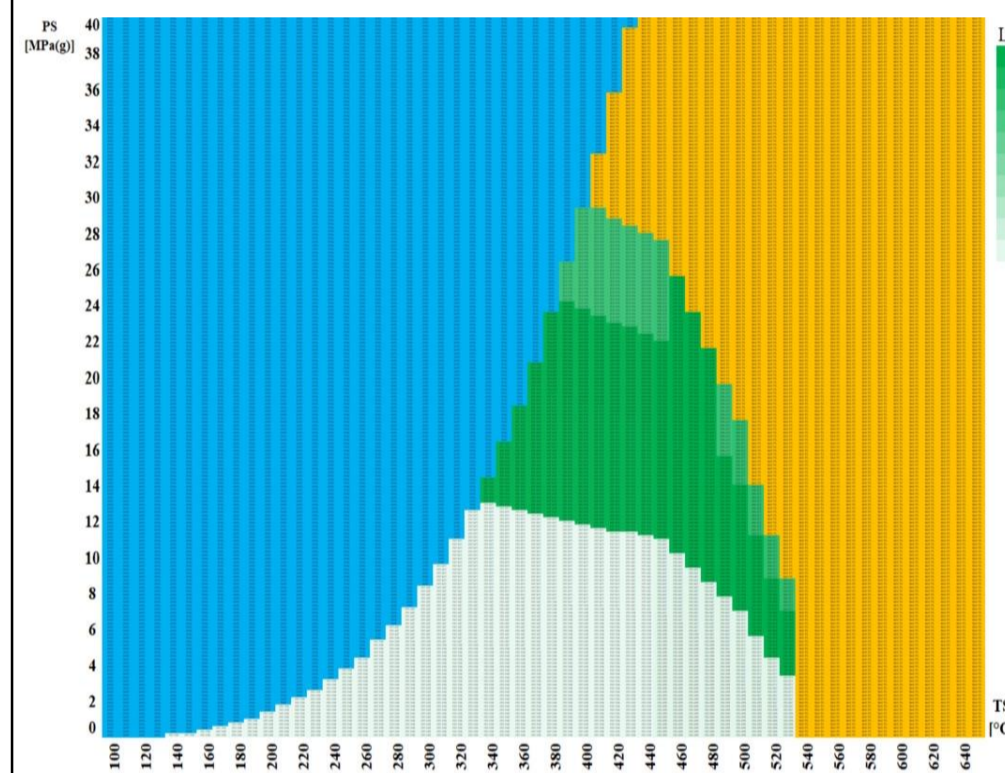
**A106-A**



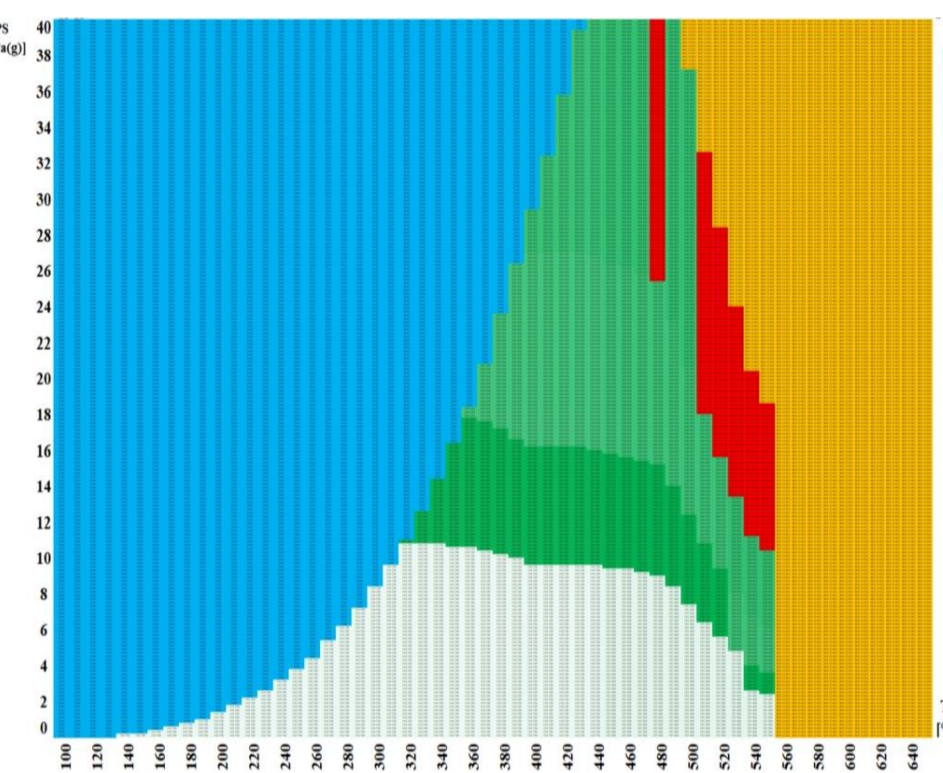
**P265GH**



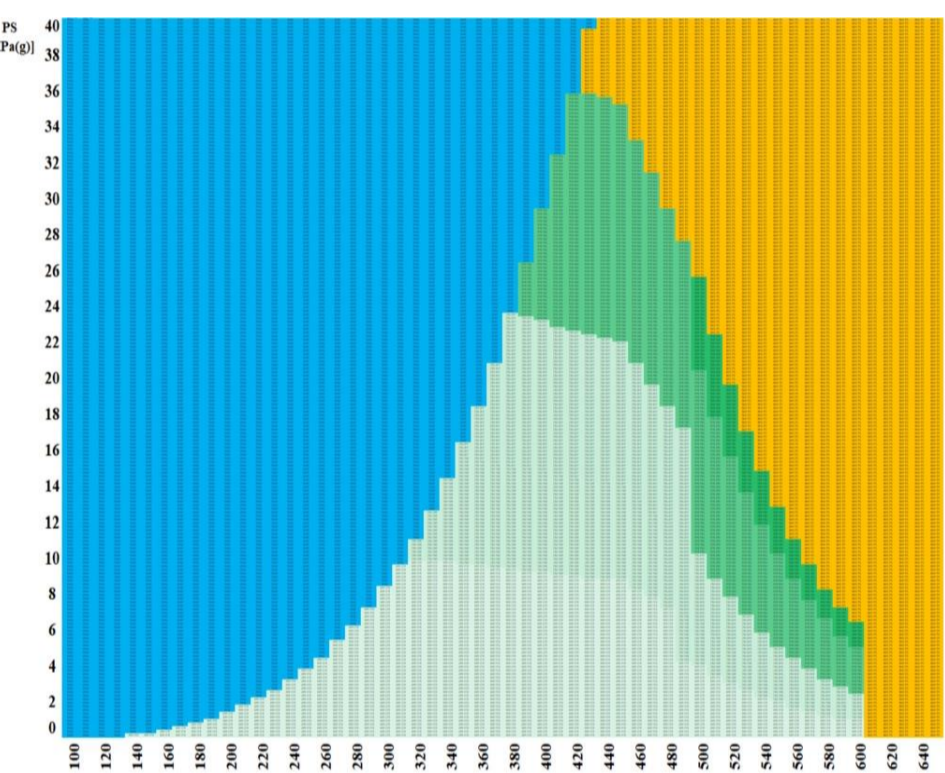
**A106-B**



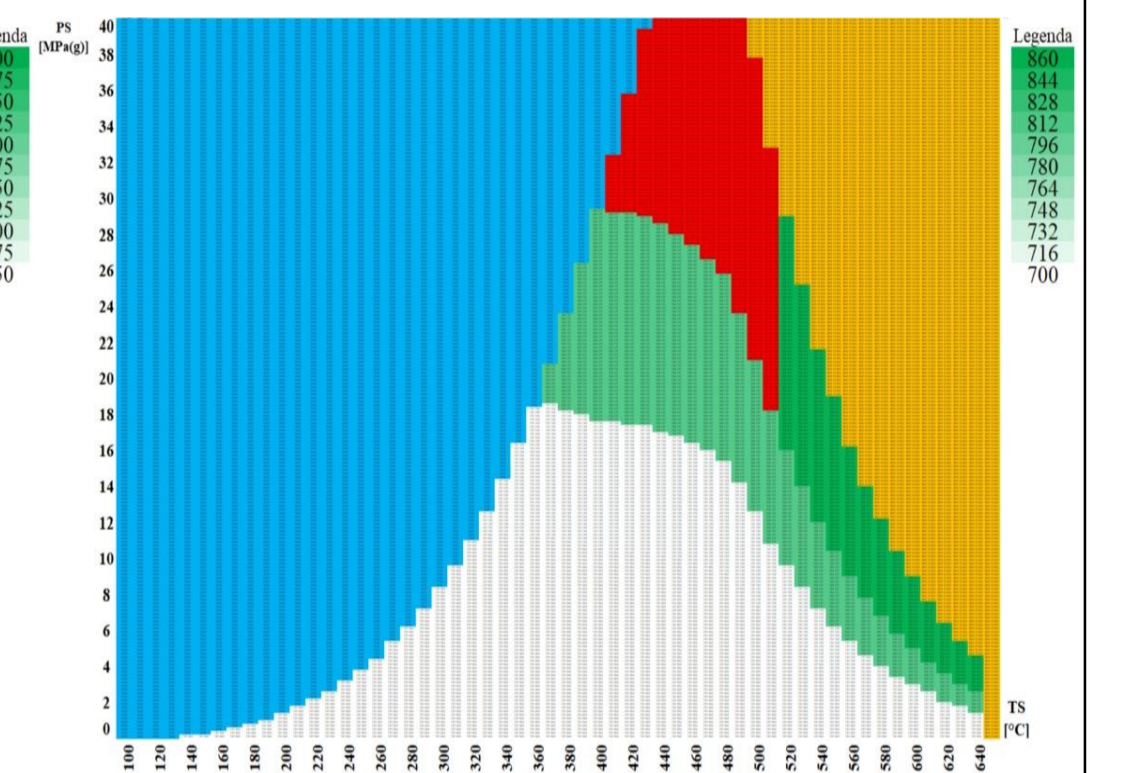
**16Mo3**



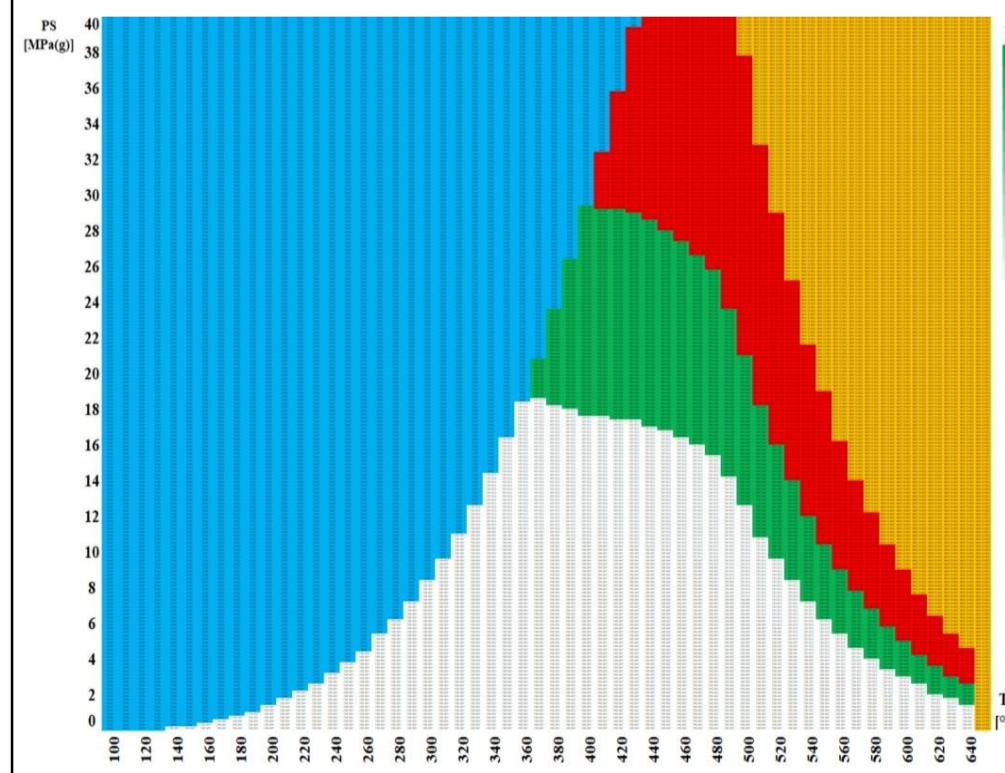
**A335-P1**



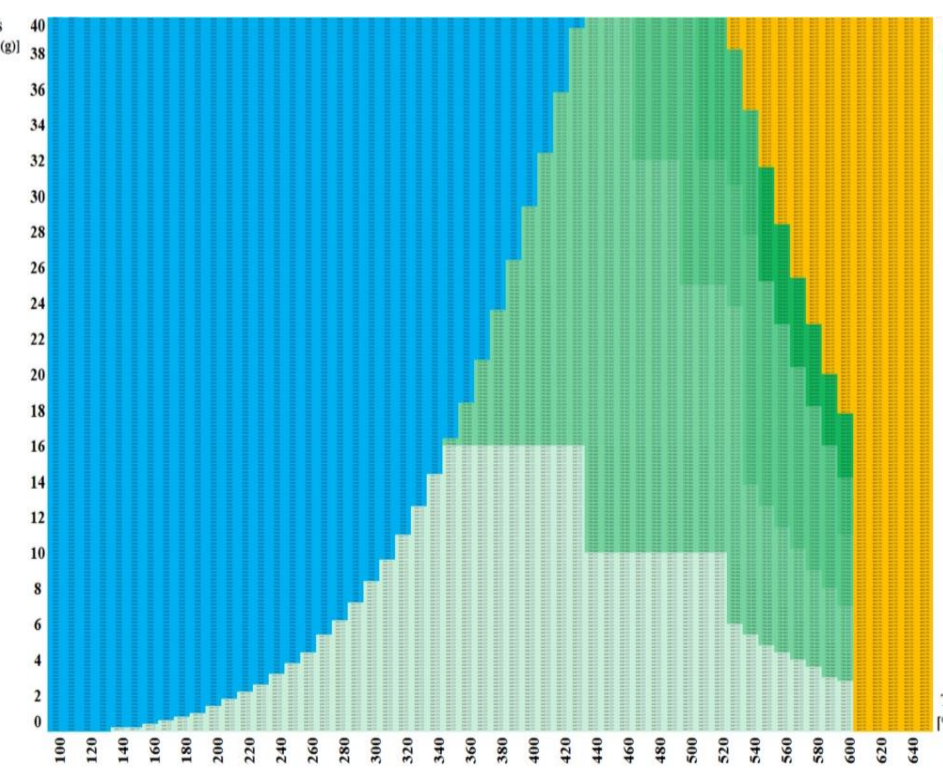
**10CrMo9-10**



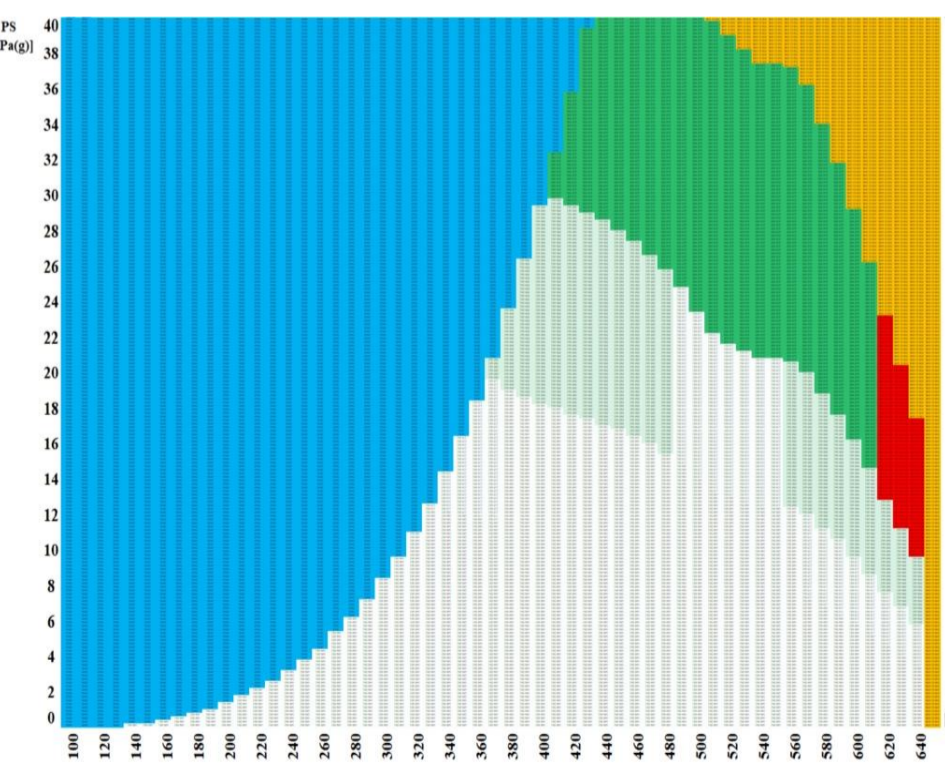
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



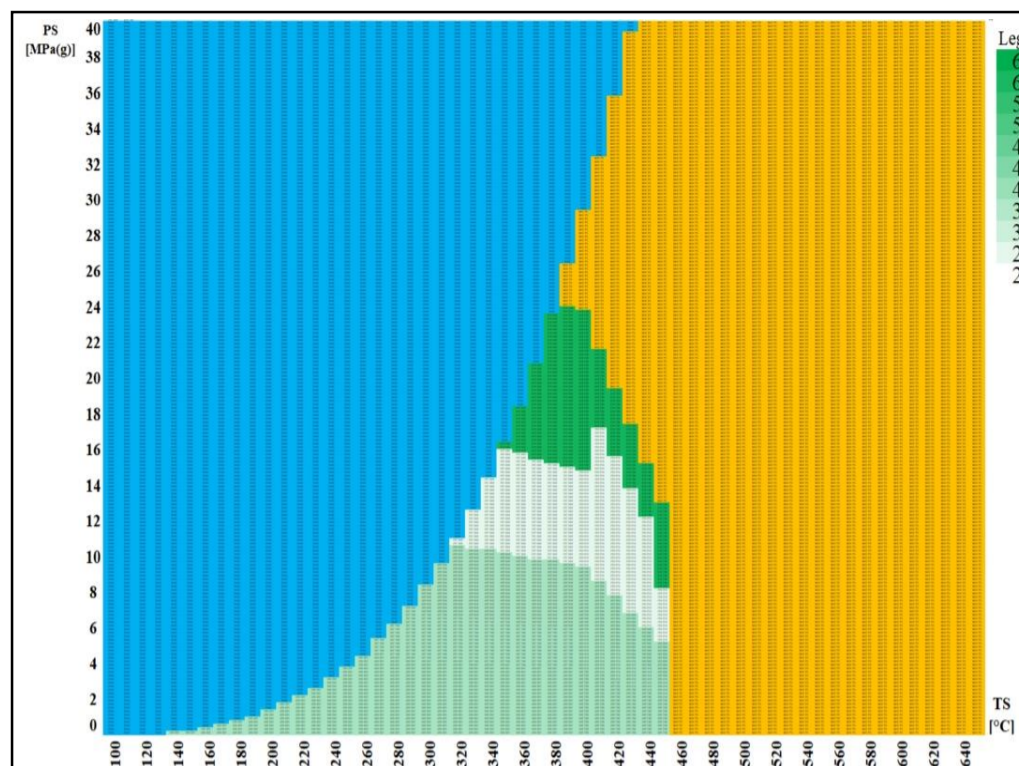
**A335 – P91**

*DN 25 – Cena za 20  
obvodových svaru  
provedenych v CR  
[tis. PJ]*

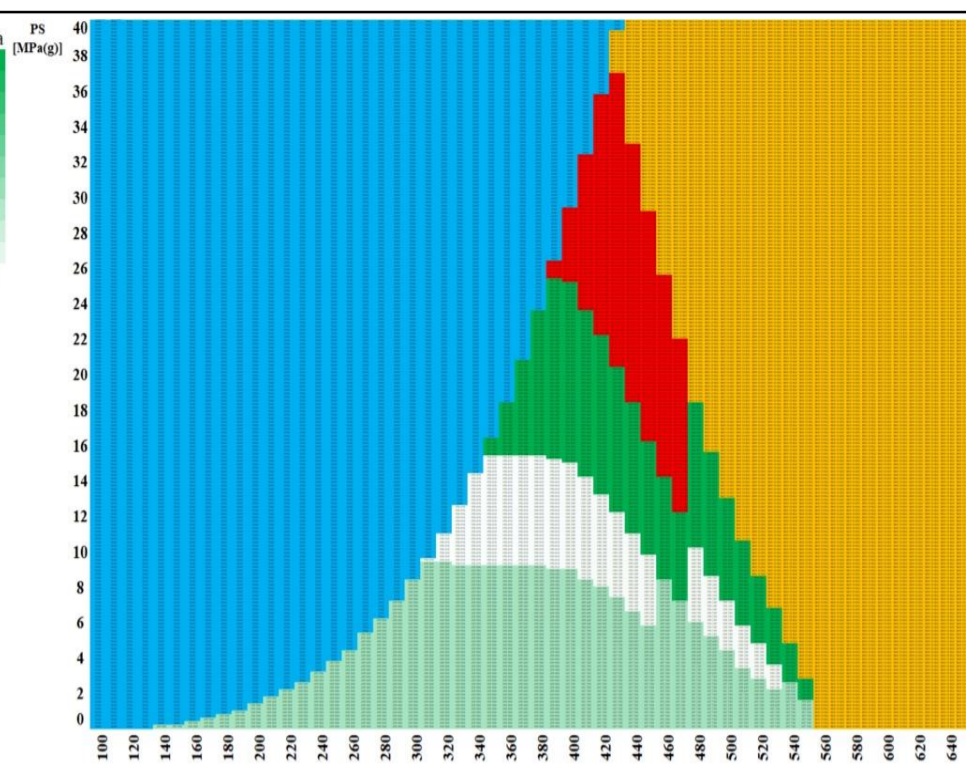
**Nutna nestandardizovana tlouška steny**

**Voda**

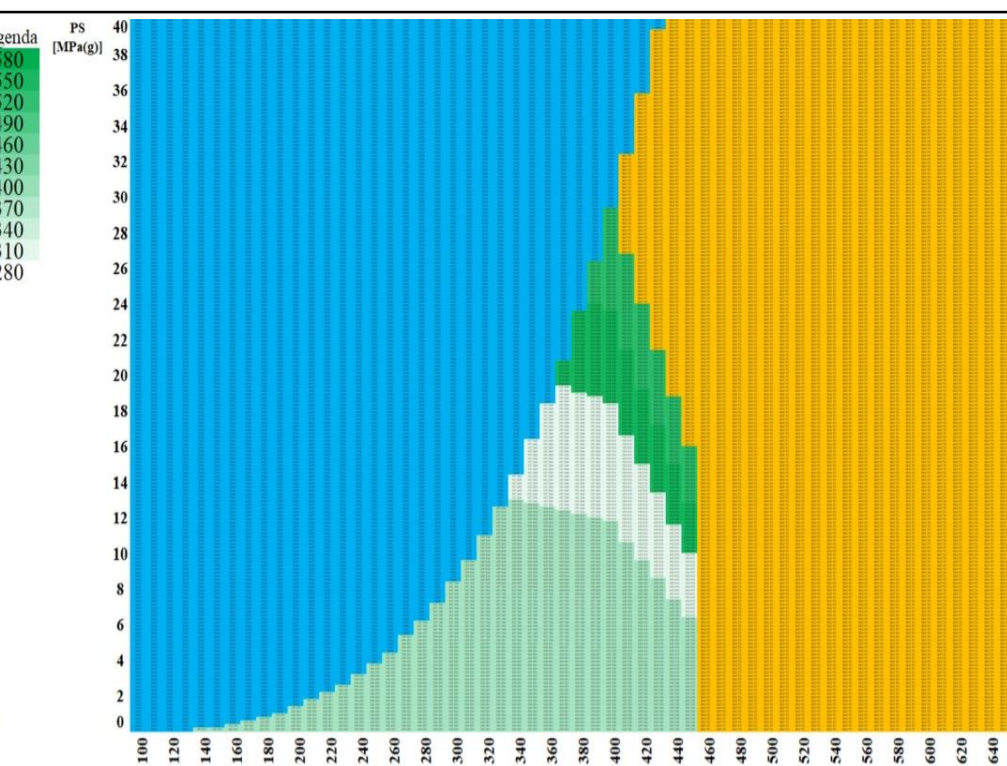
**Neni definovan tlakoteplotni stupeň**



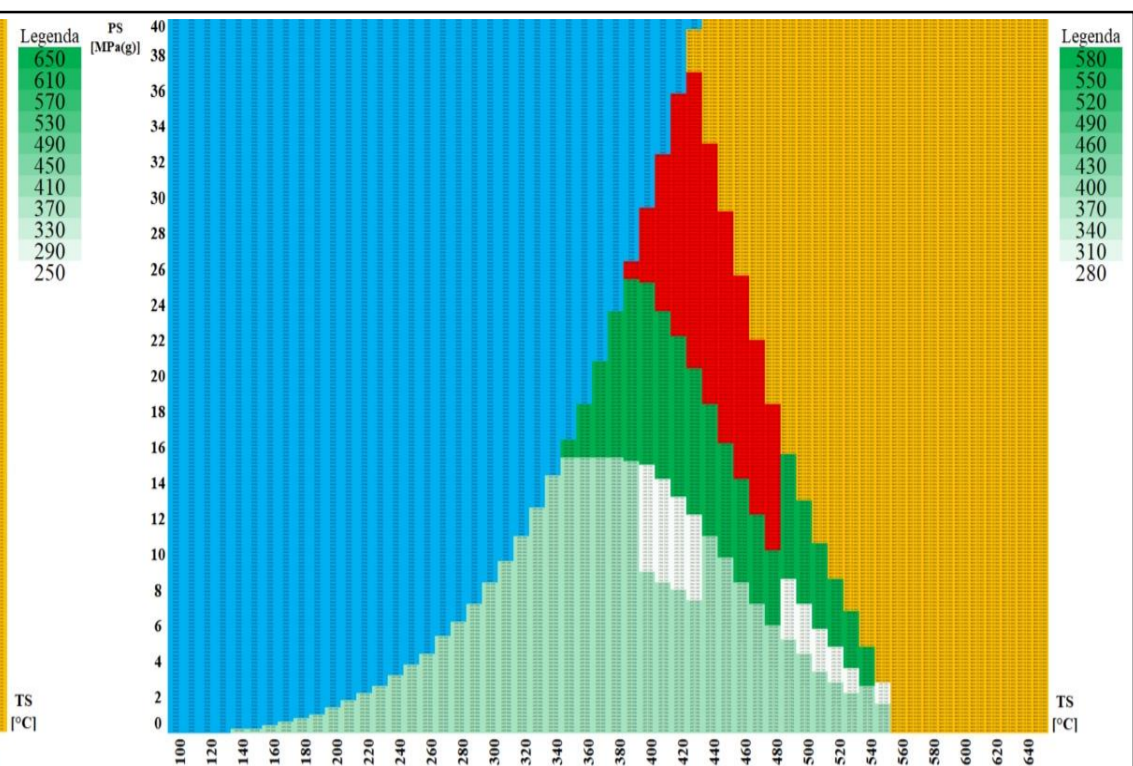
**P235GH**



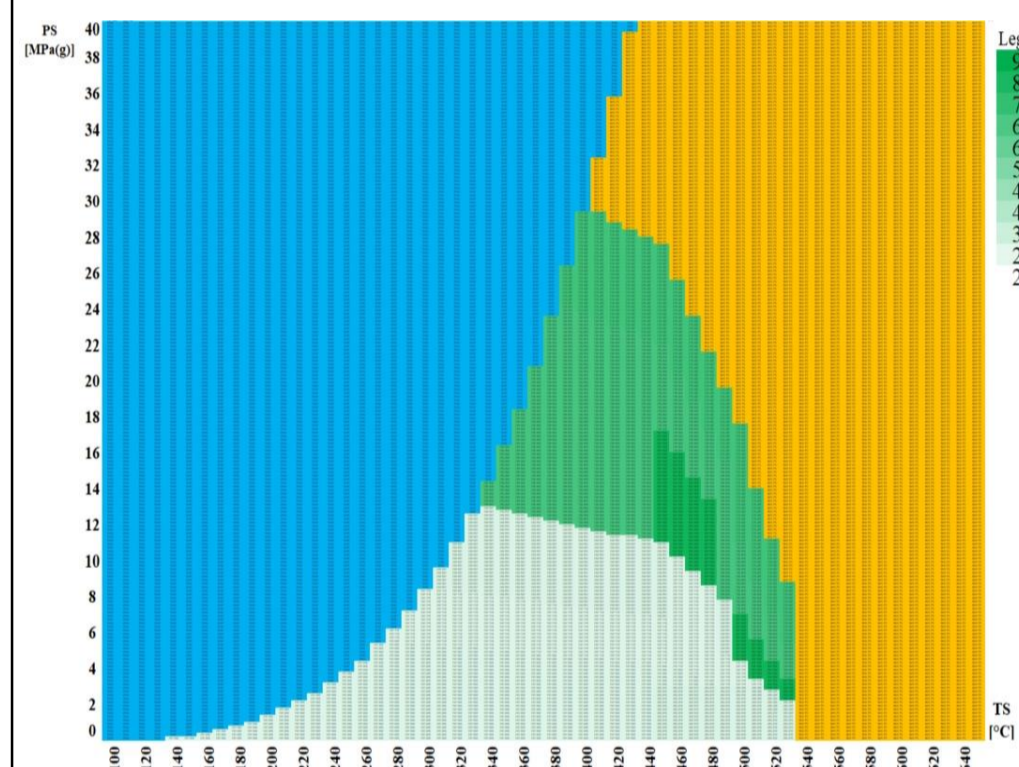
**A106-A**



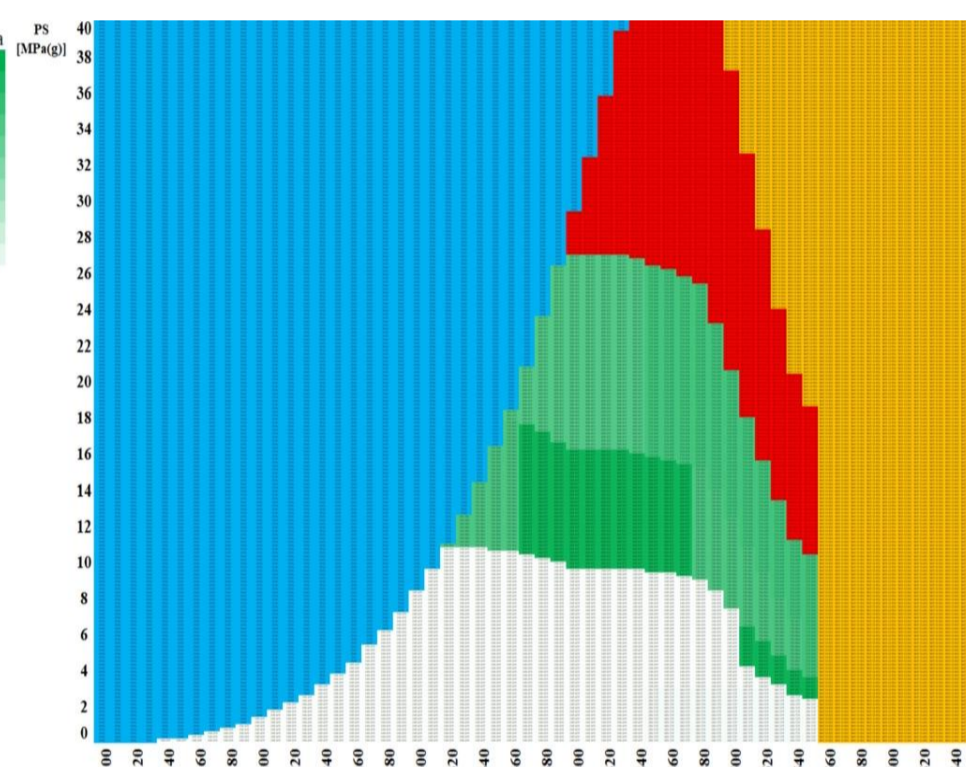
**P265GH**



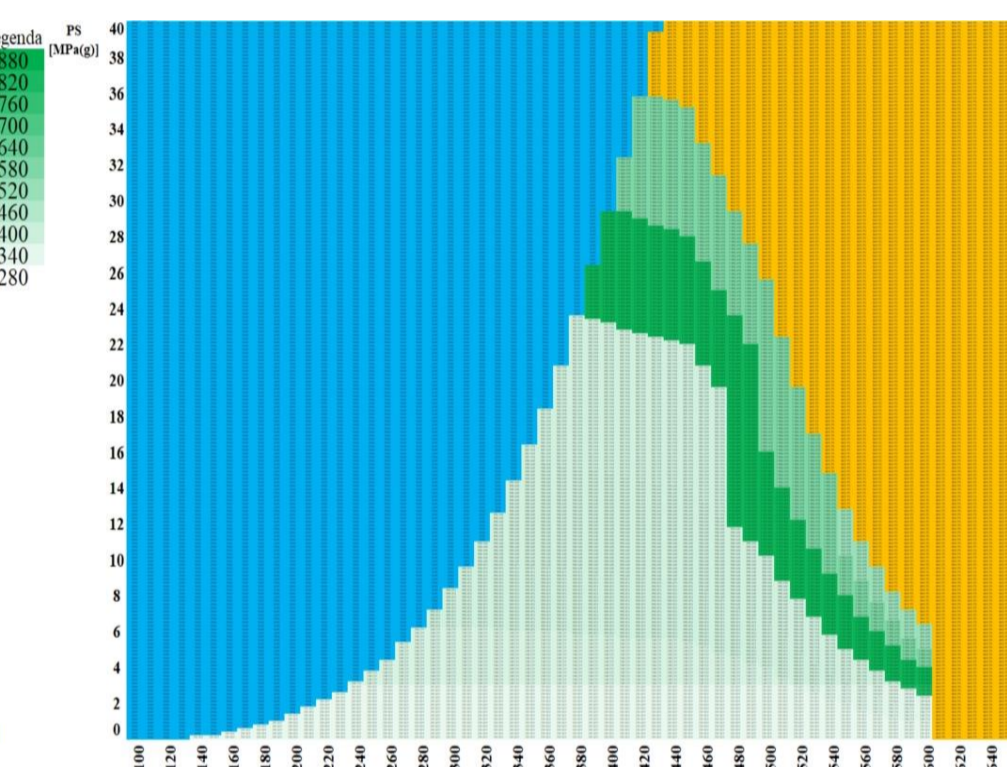
**A106-B**



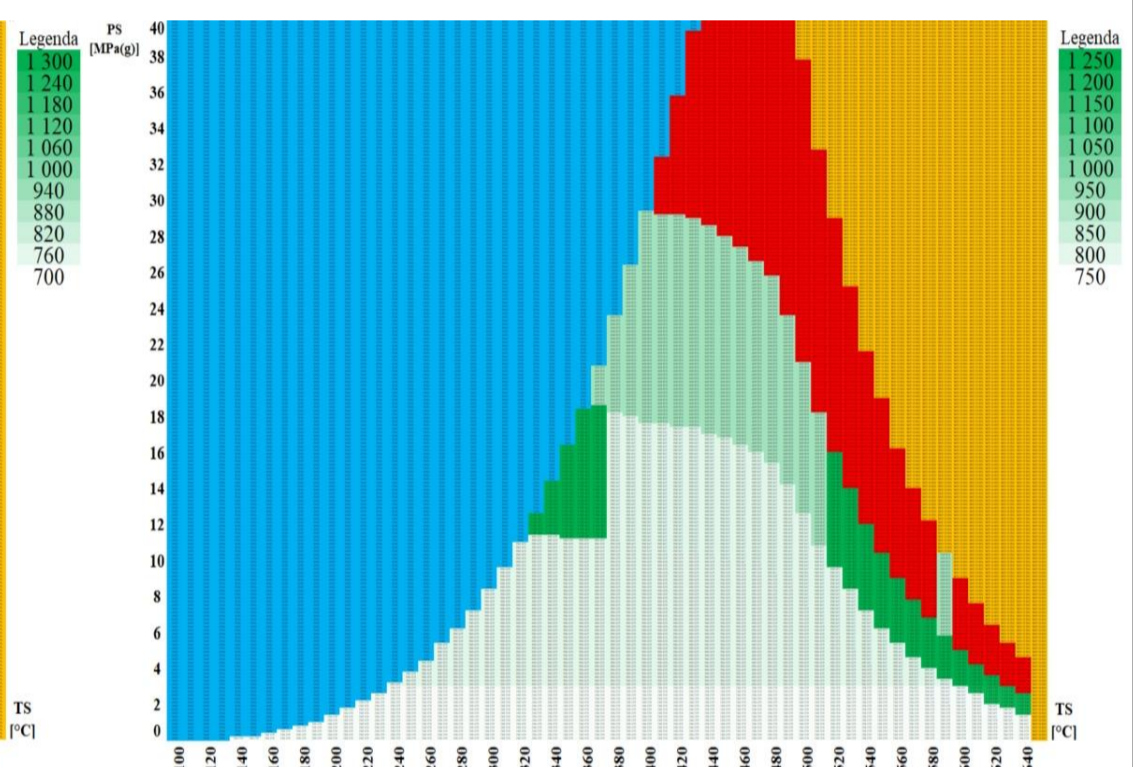
**16Mo3**



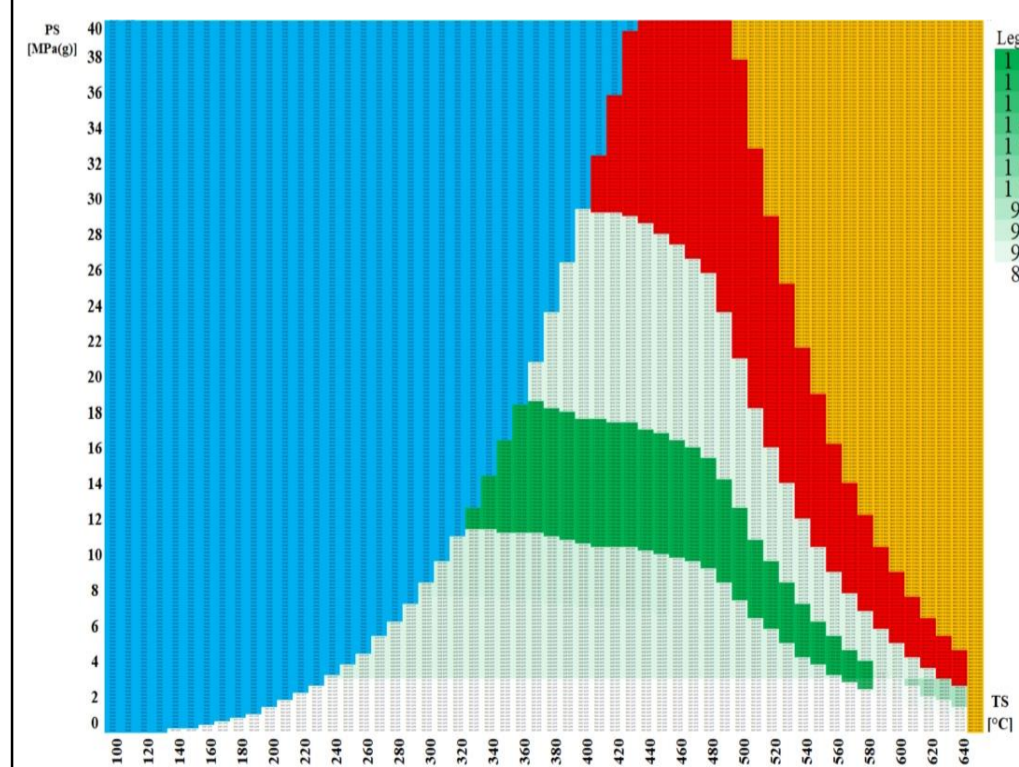
**A335-P1**



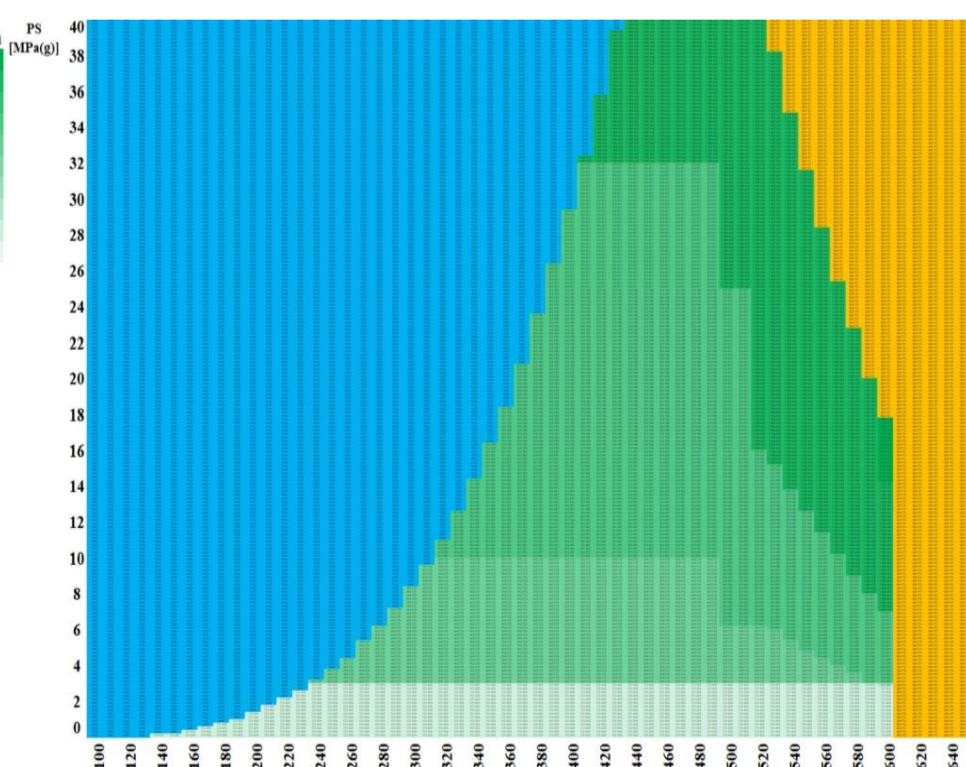
**10CrMo9-10**



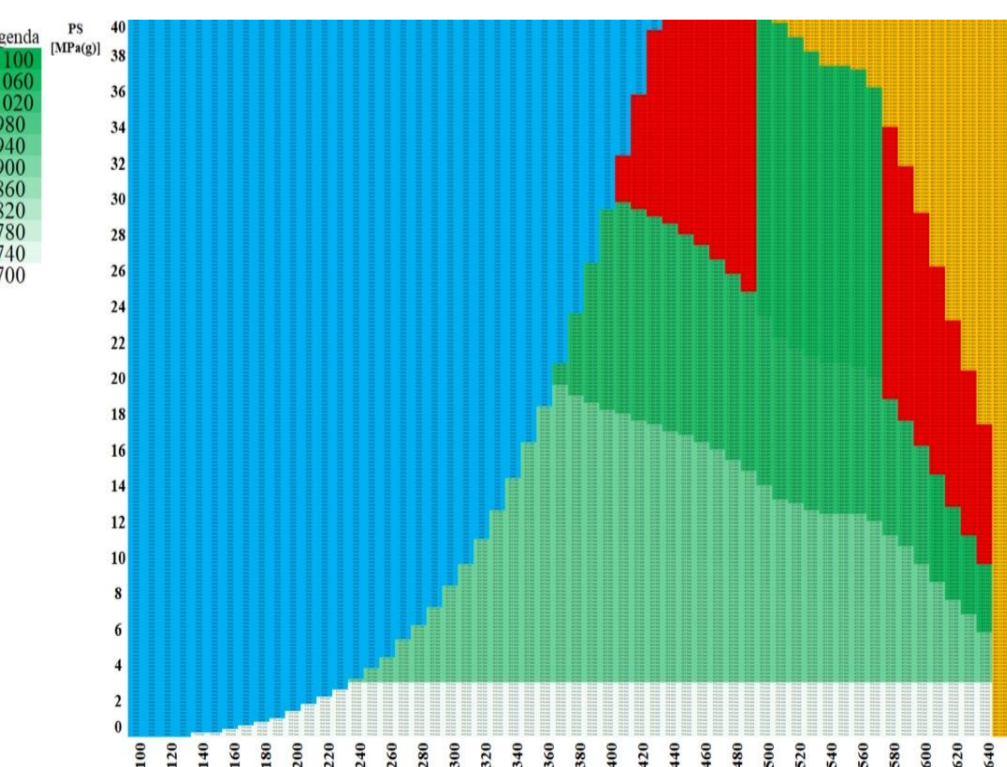
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



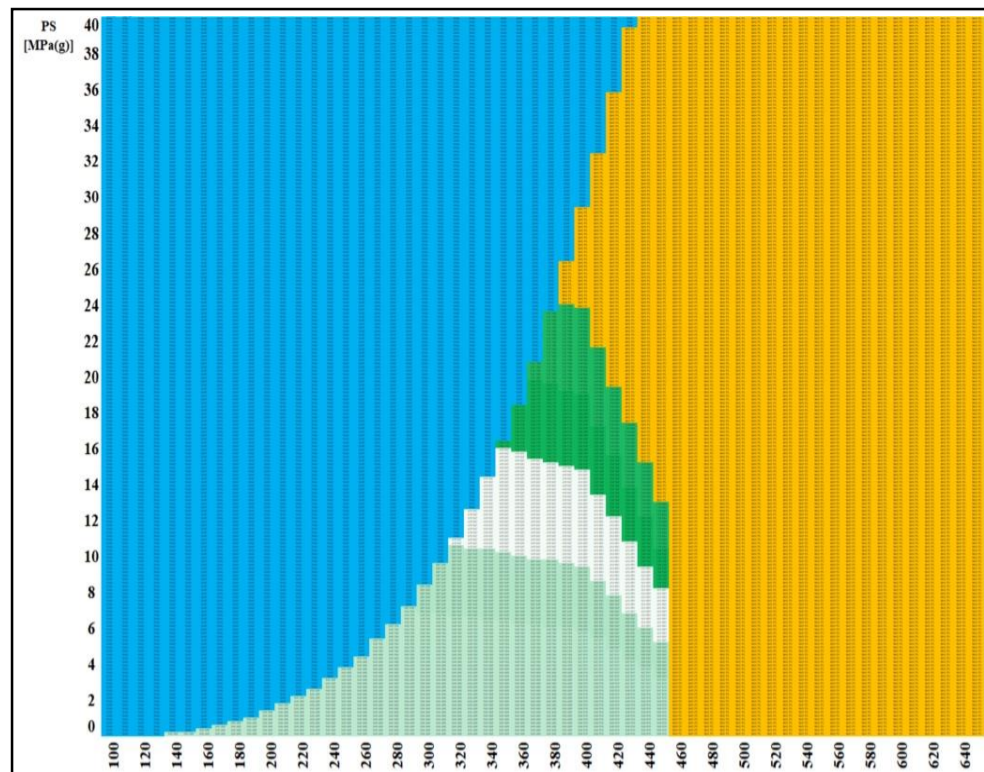
**A335 – P91**

*DN 32 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]*

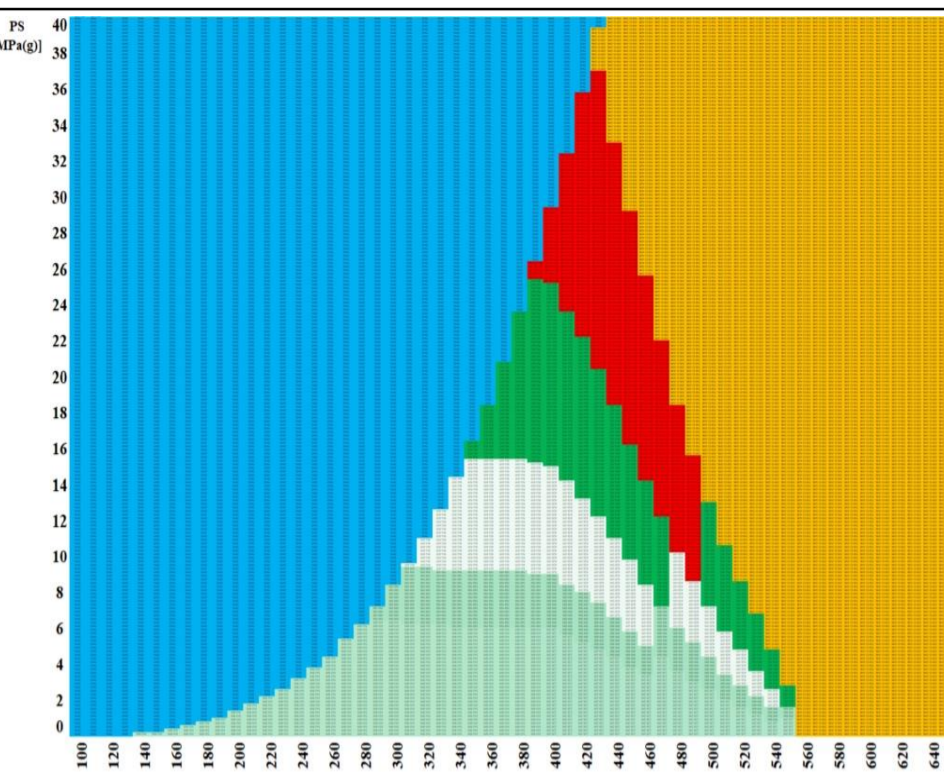
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

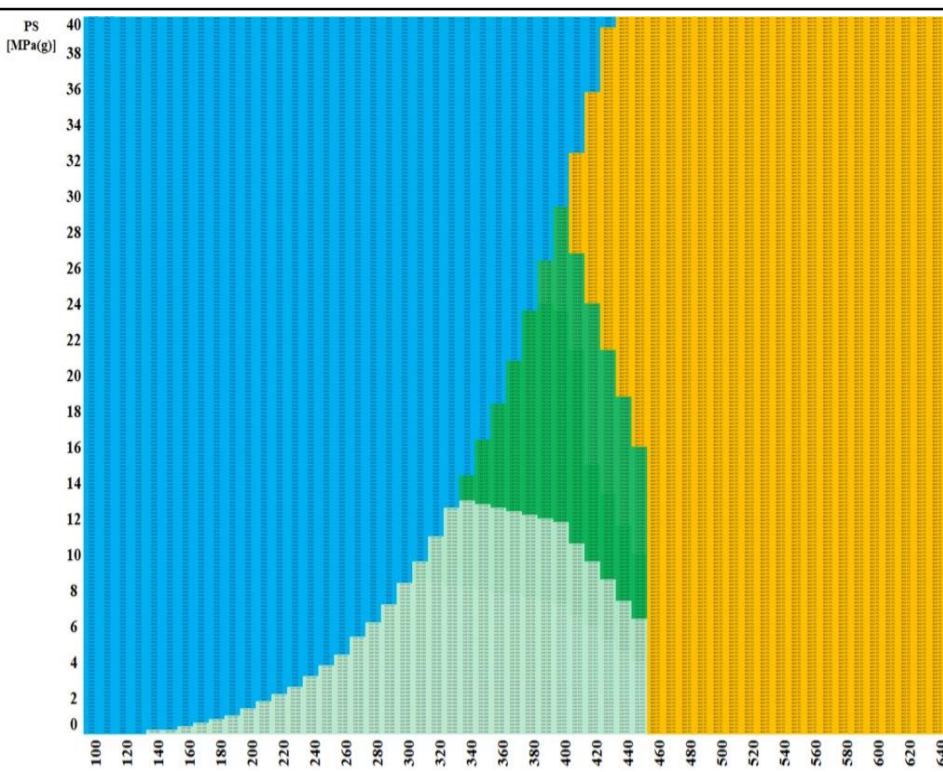
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



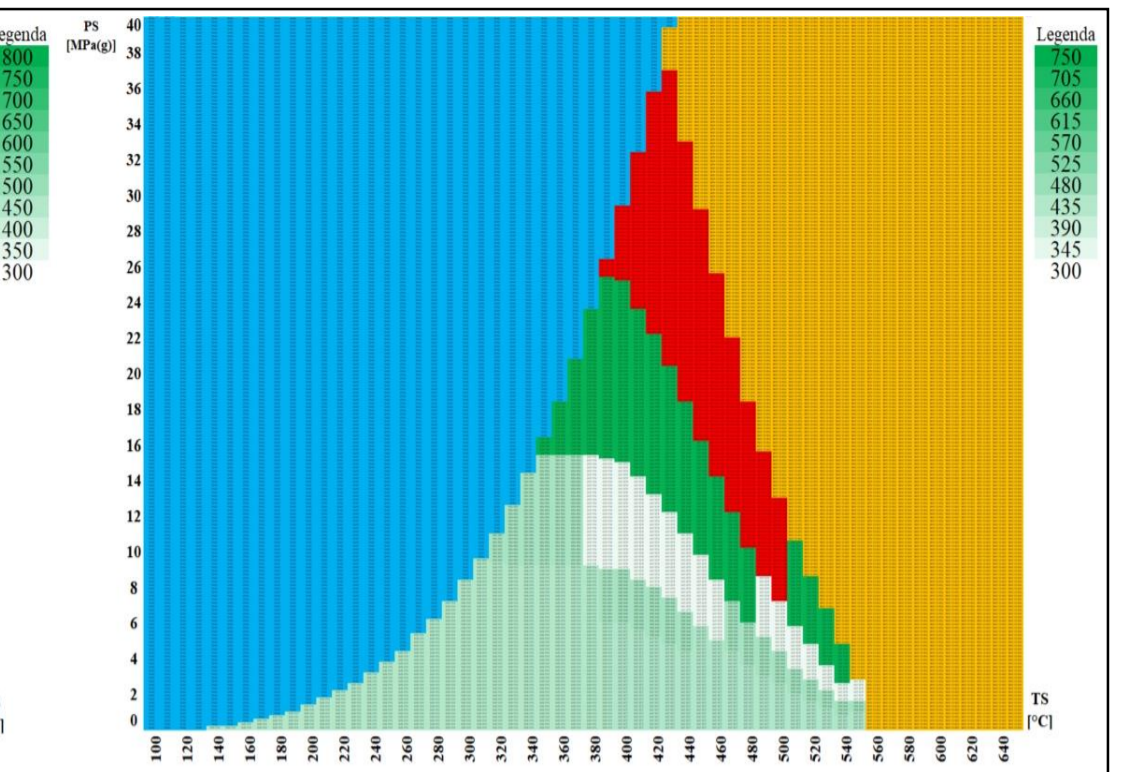
**P235GH**



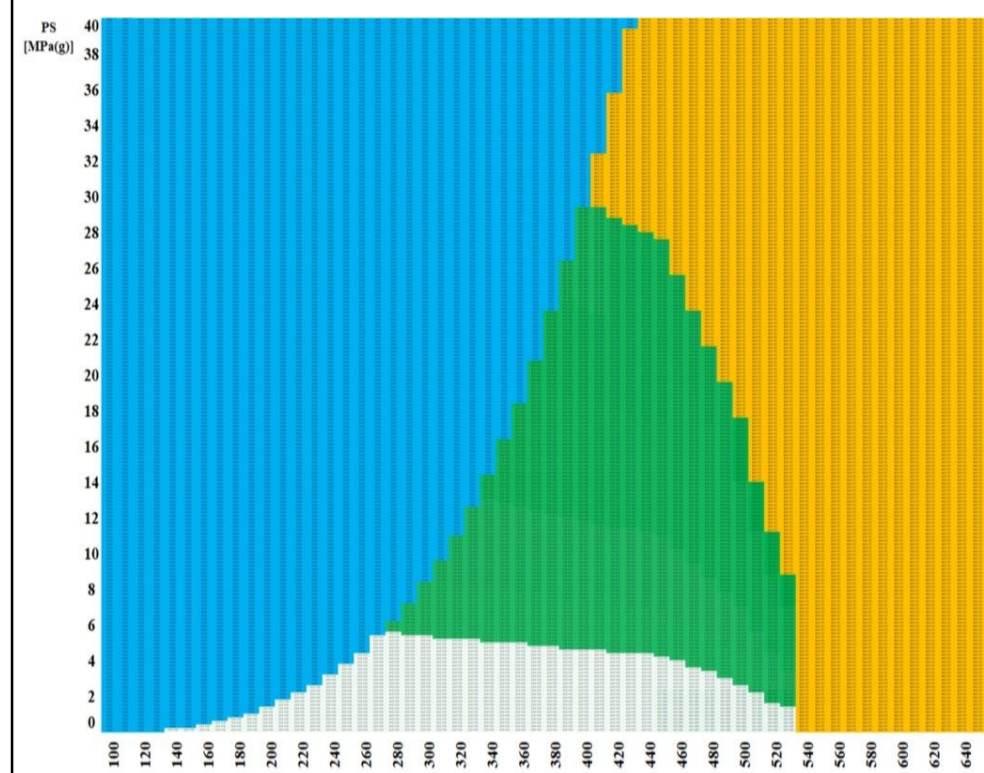
**A106-A**



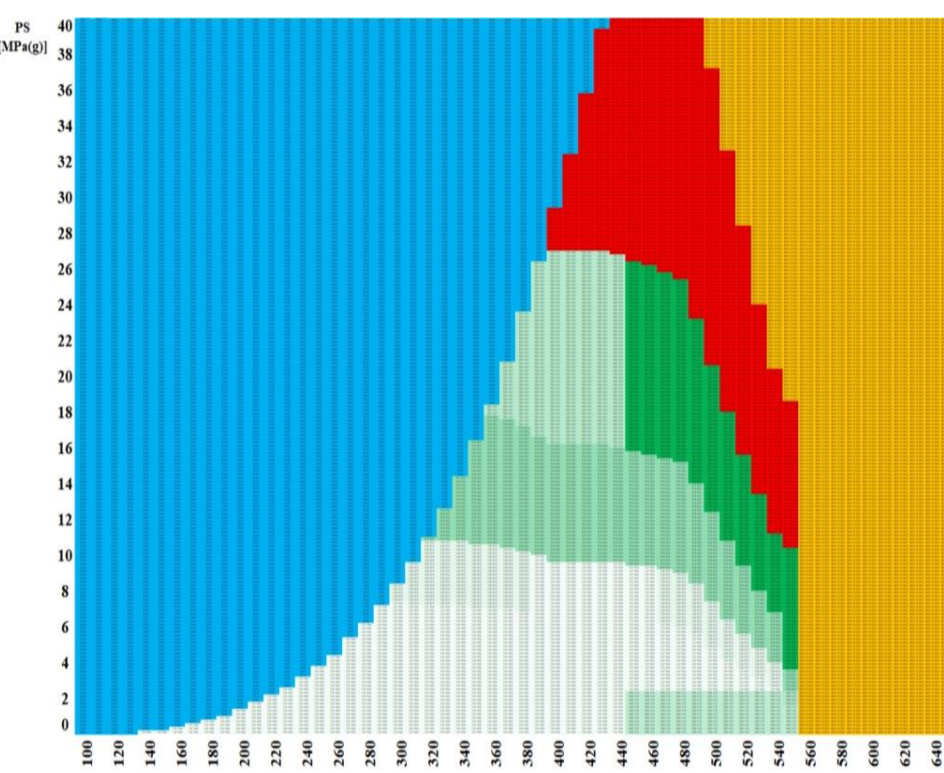
**P265GH**



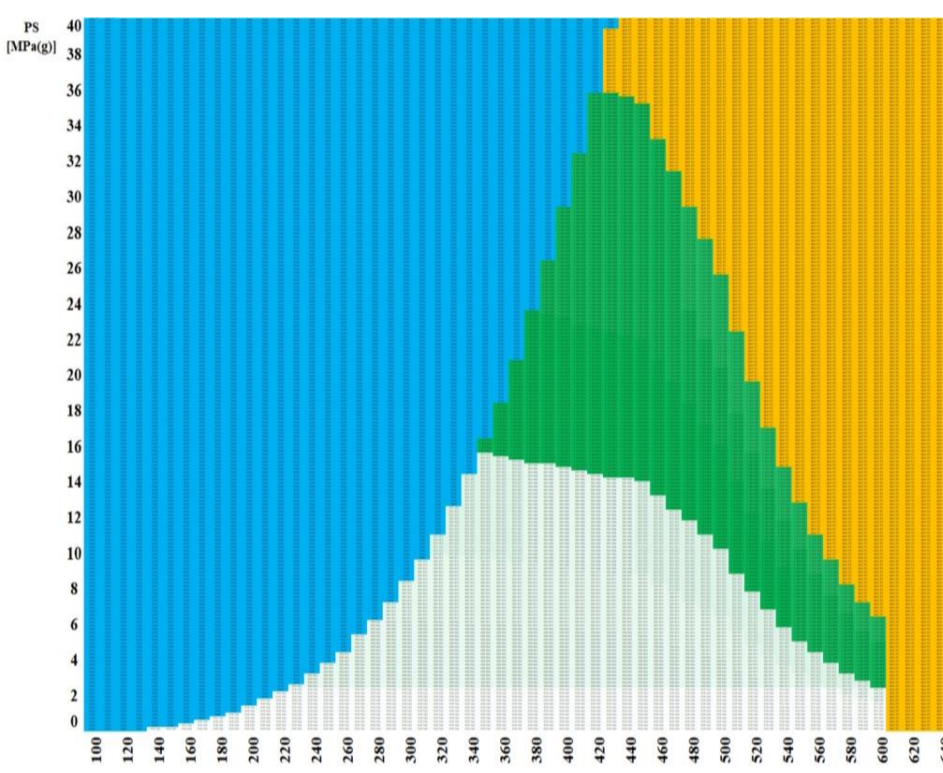
**A106-B**



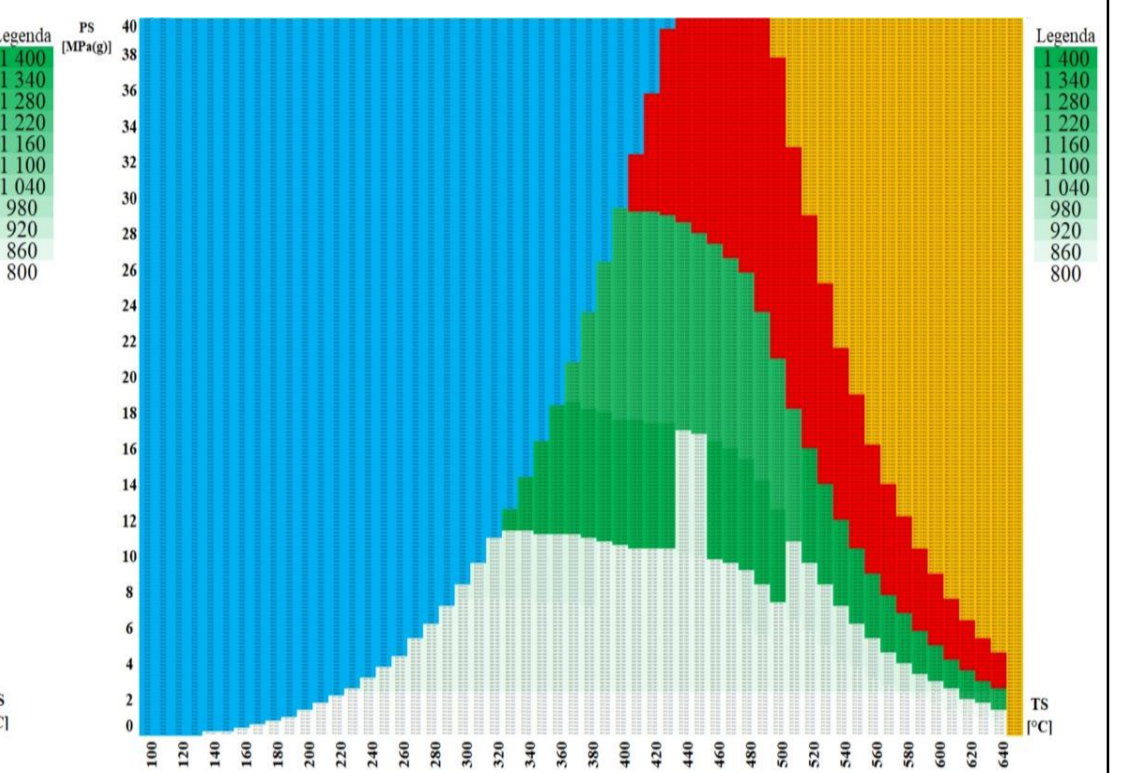
**16Mo3**



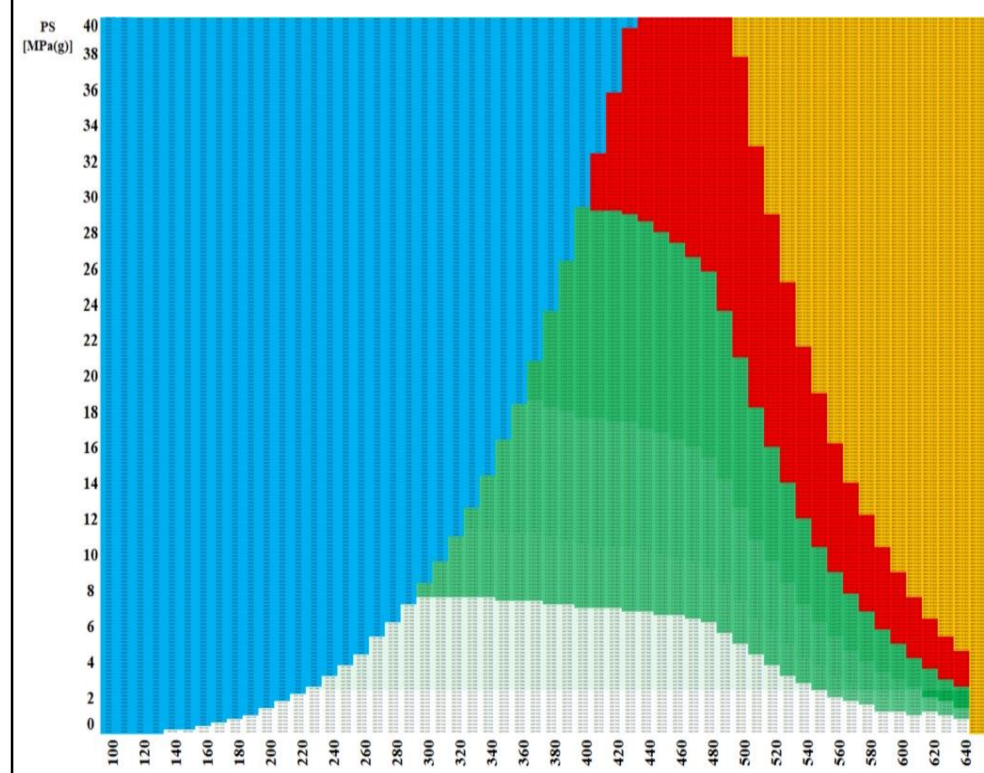
**A335-P1**



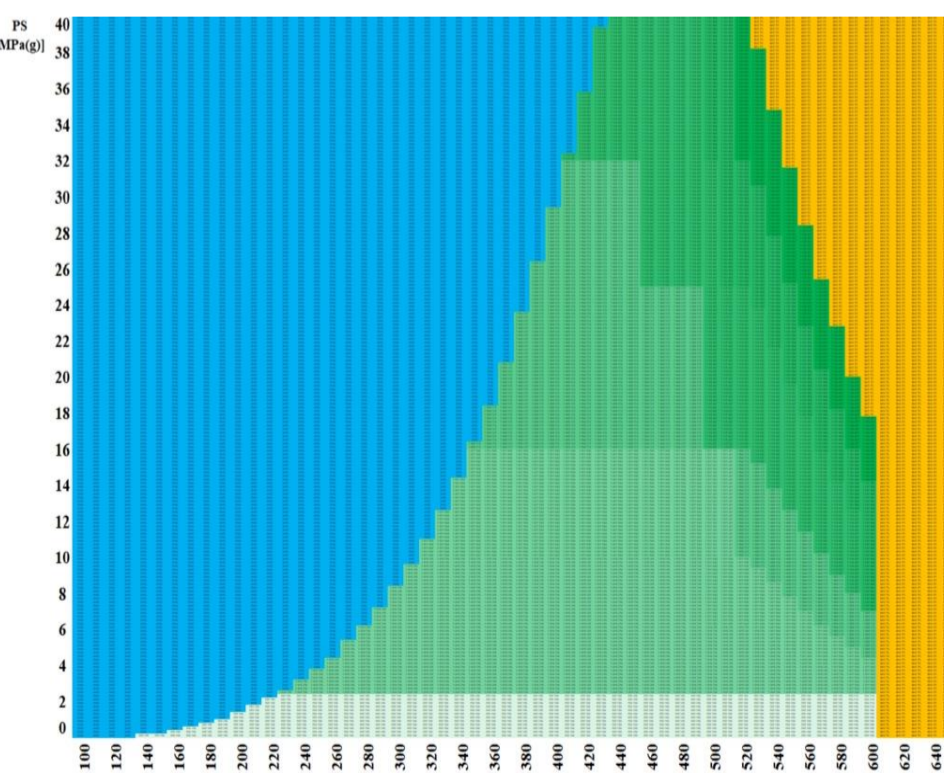
**10CrMo9-10**



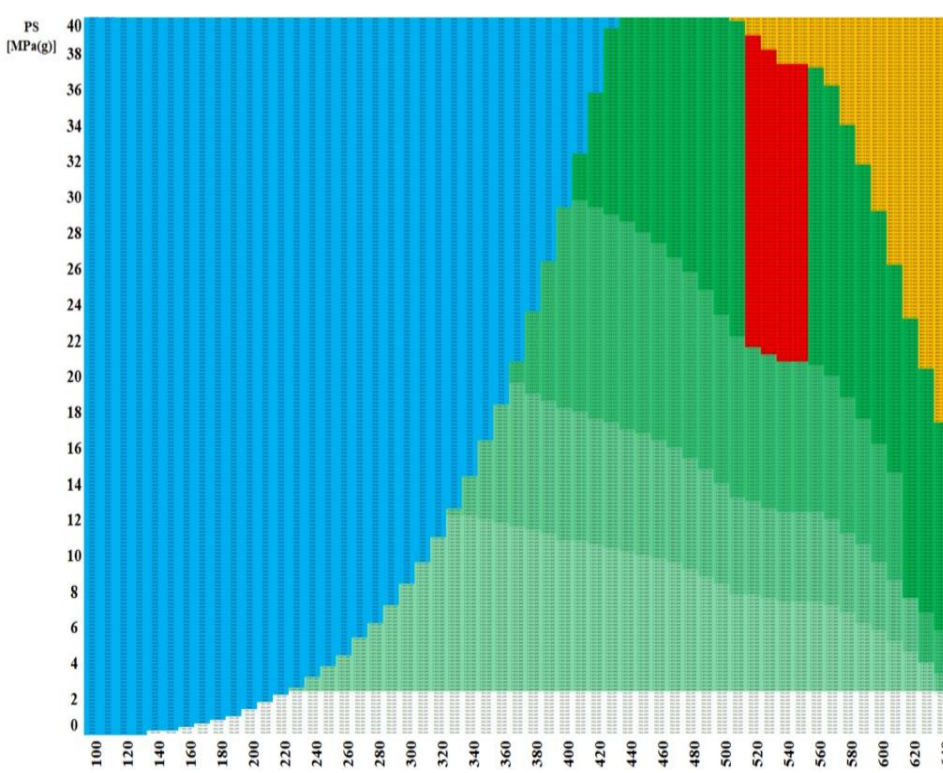
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



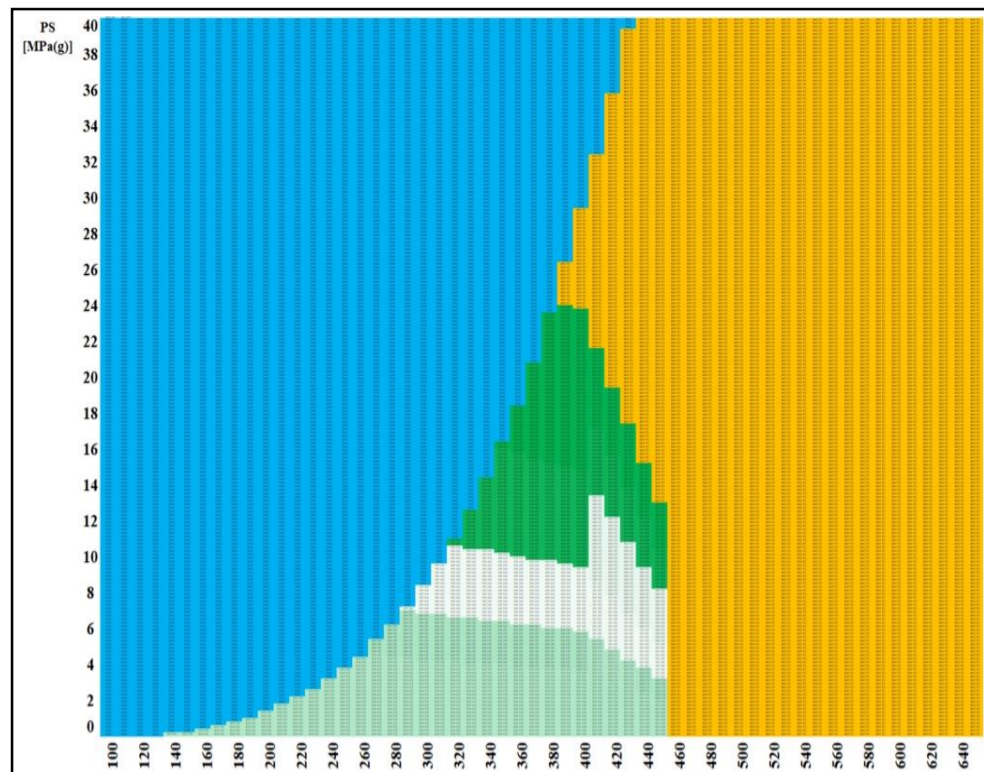
**A335 – P91**

*DN 40 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]*

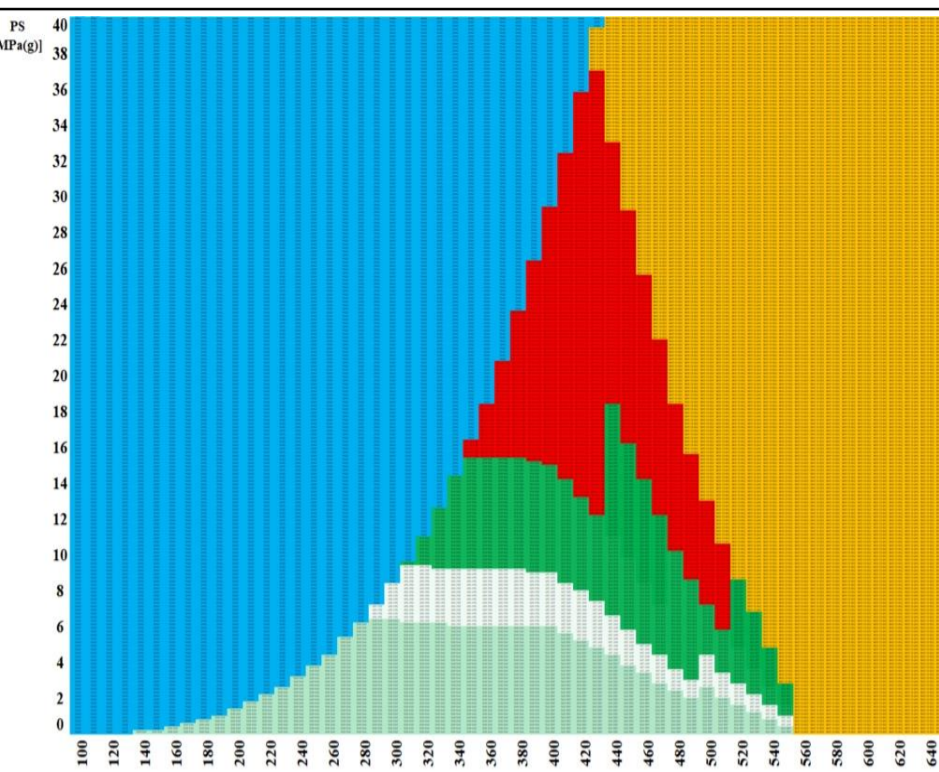
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

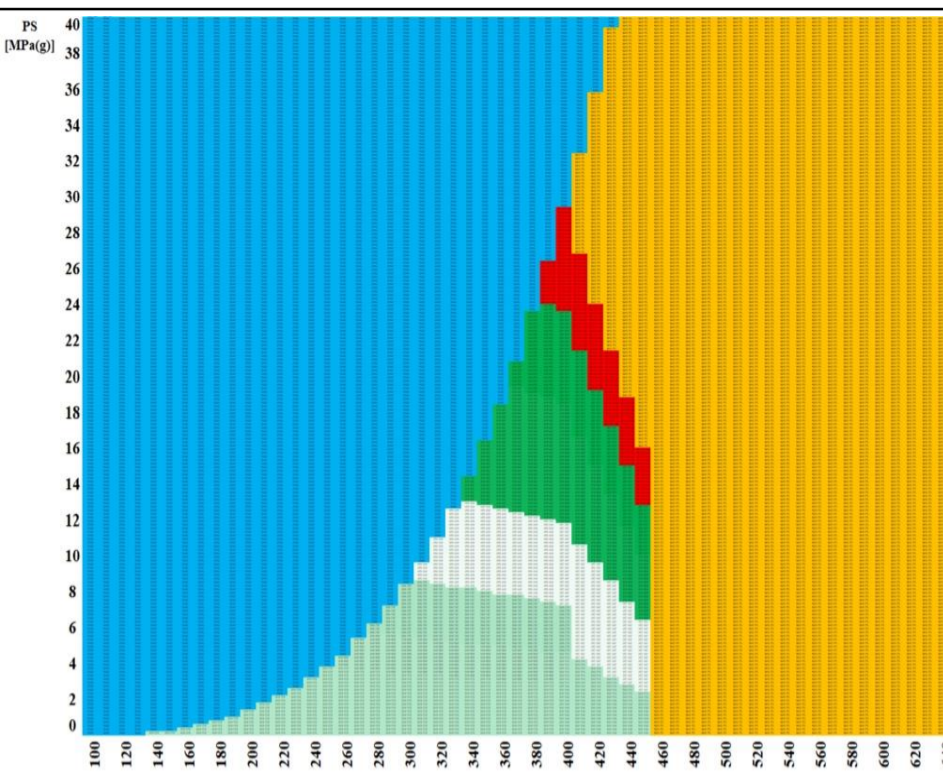
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



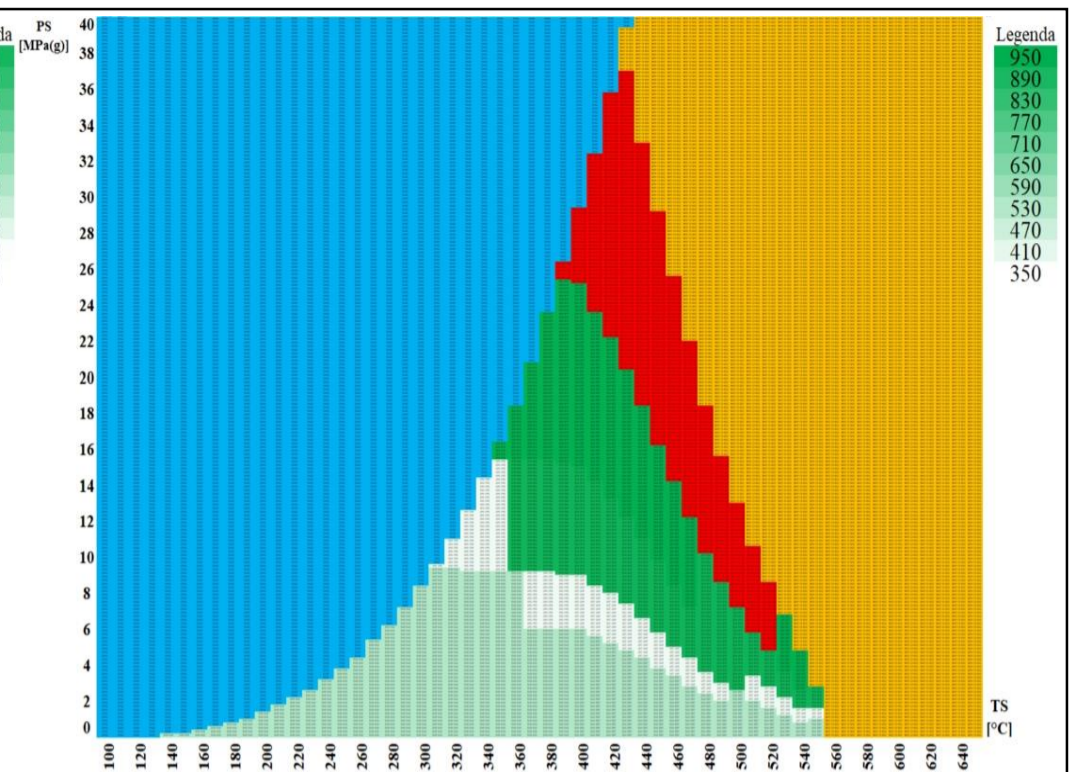
**P235GH**



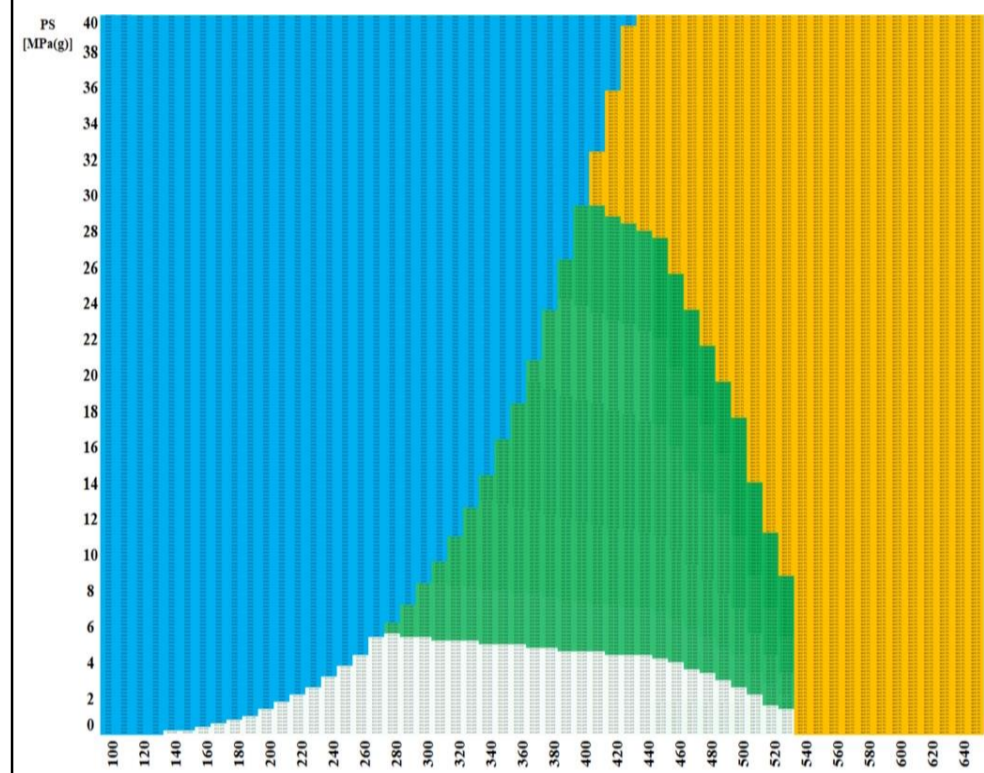
**A106-A**



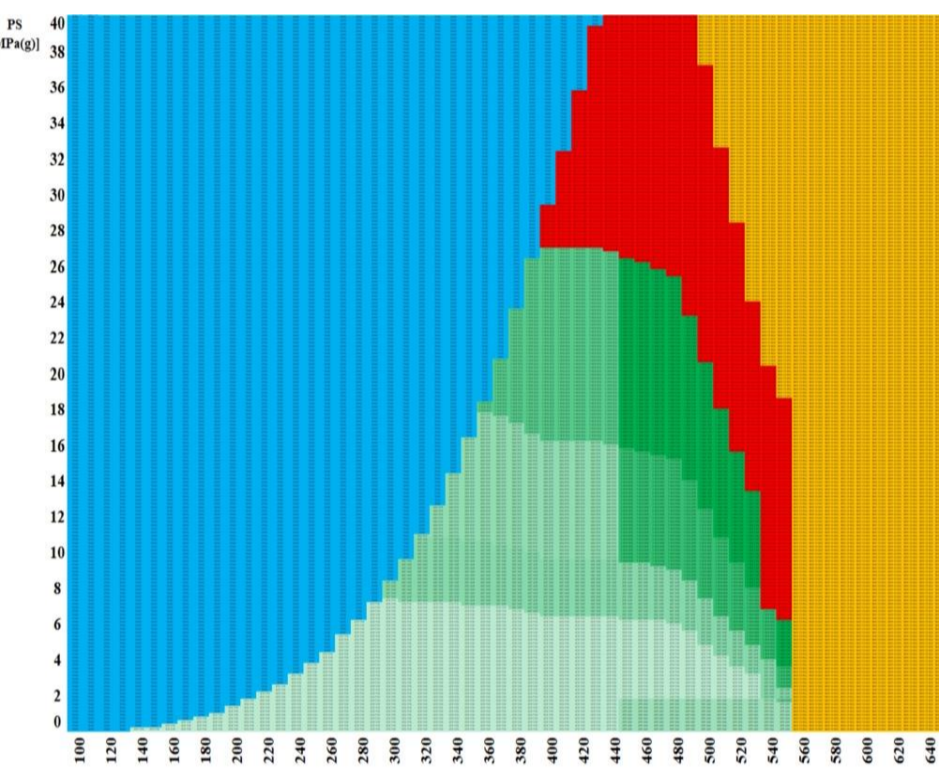
**P265GH**



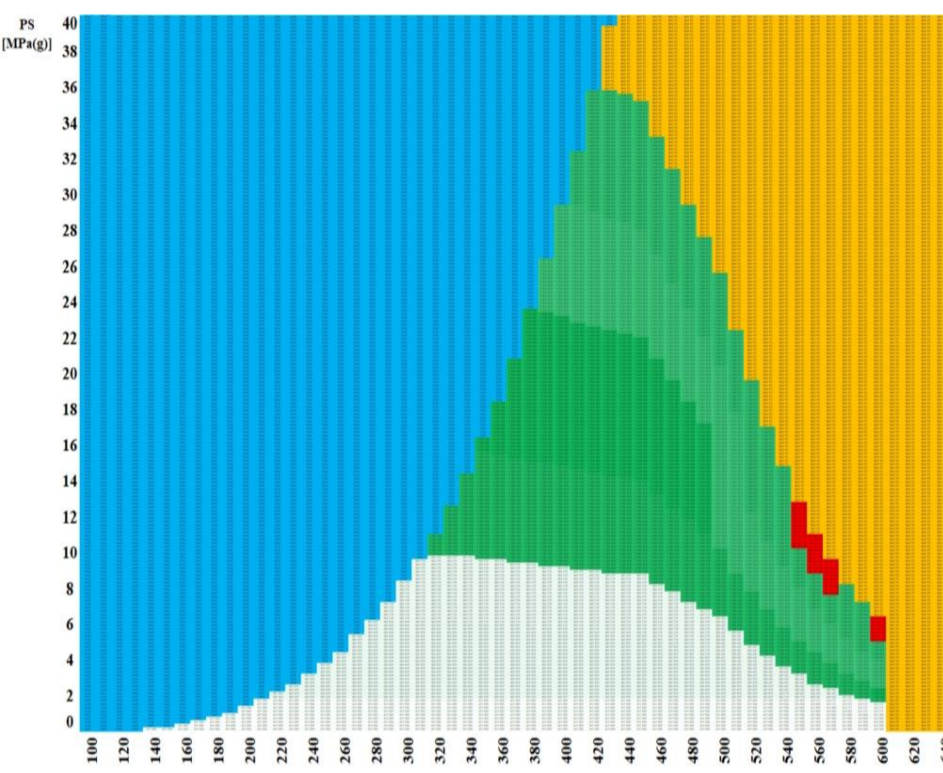
**A106-B**



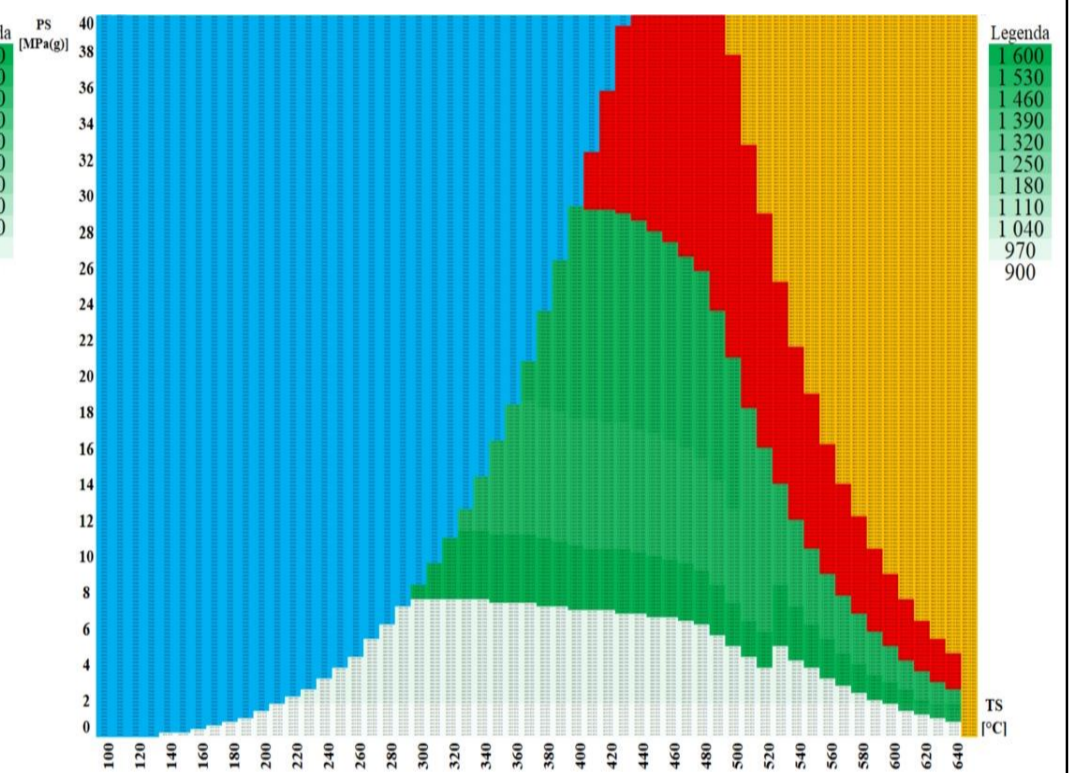
**16Mo3**



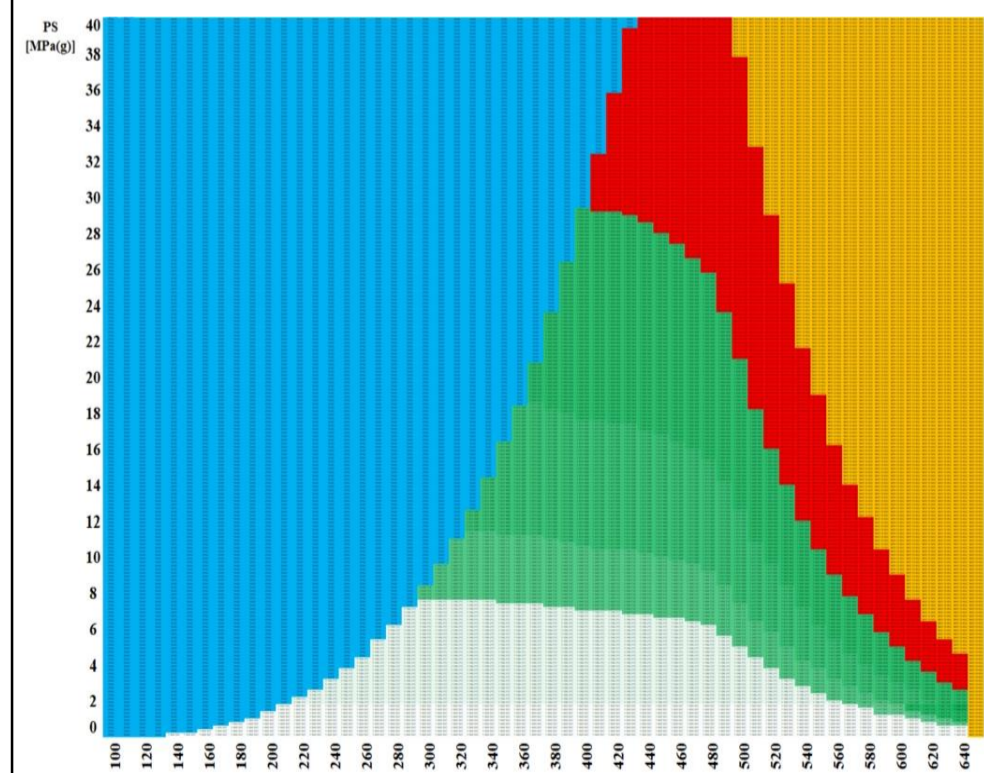
**A335-P1**



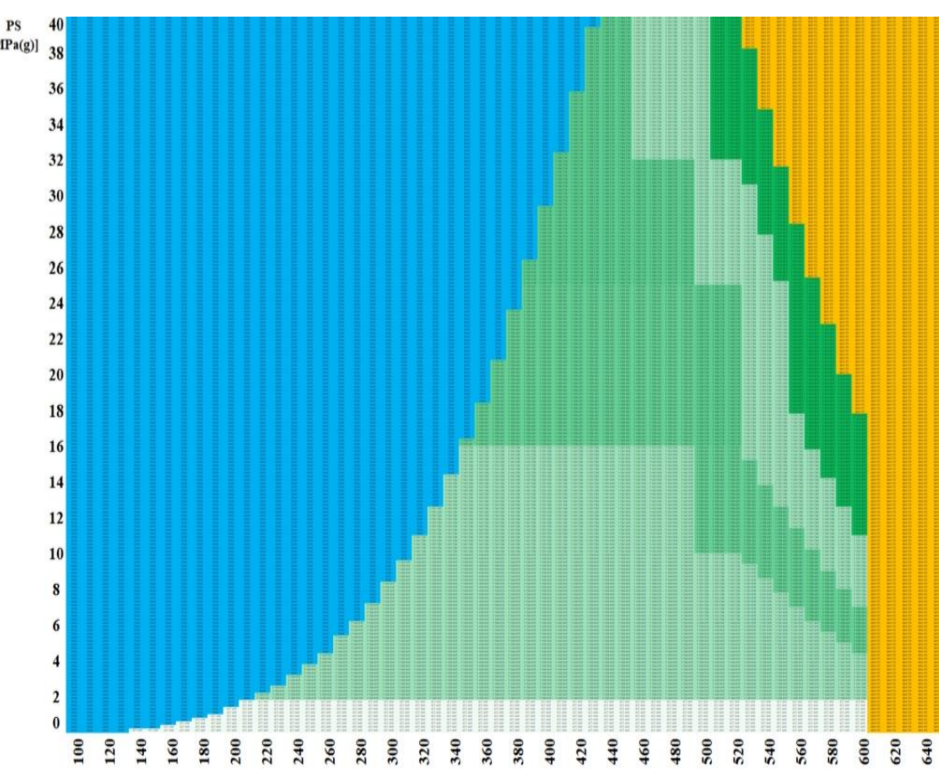
**10CrMo9-10**



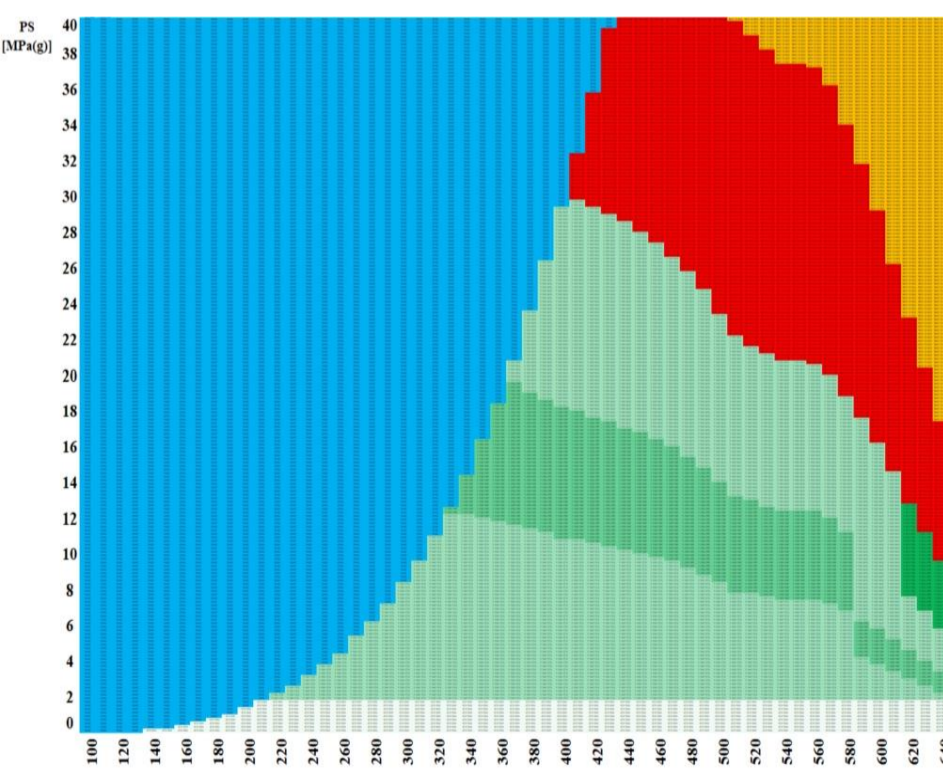
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



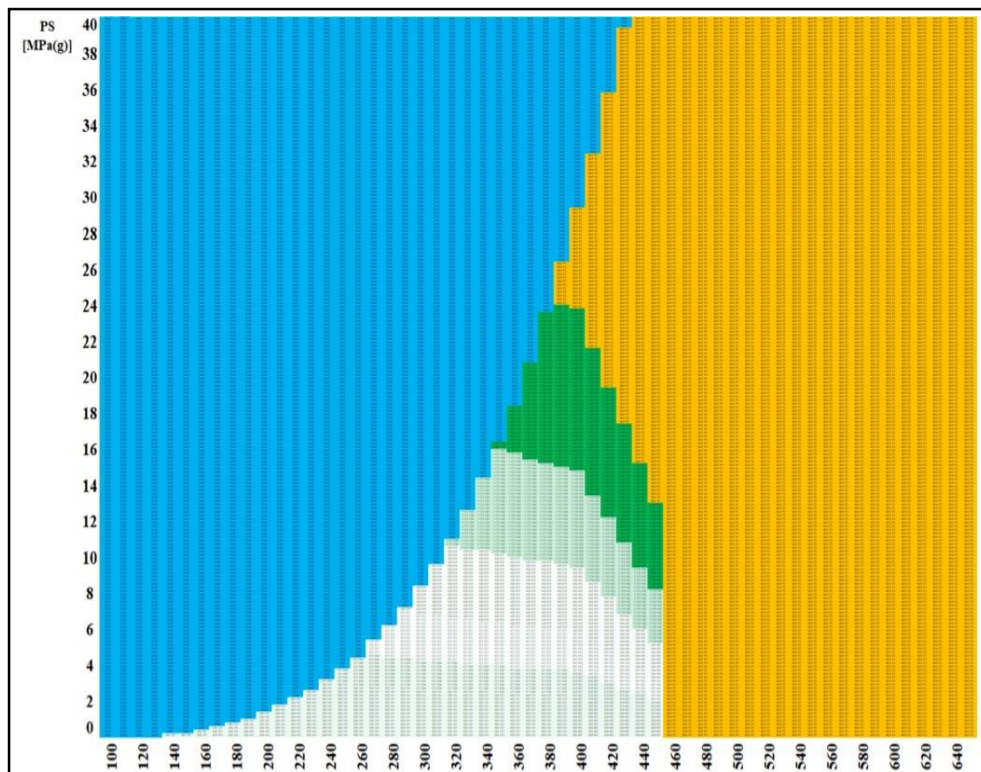
**A335 – P91**

*DN 50 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]*

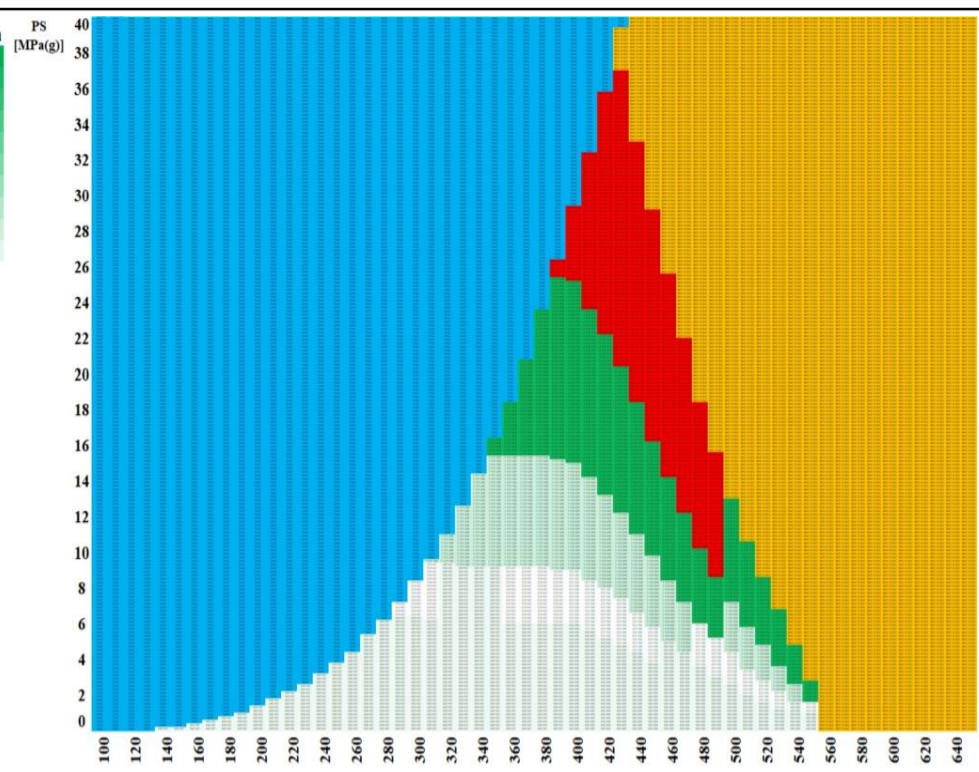
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

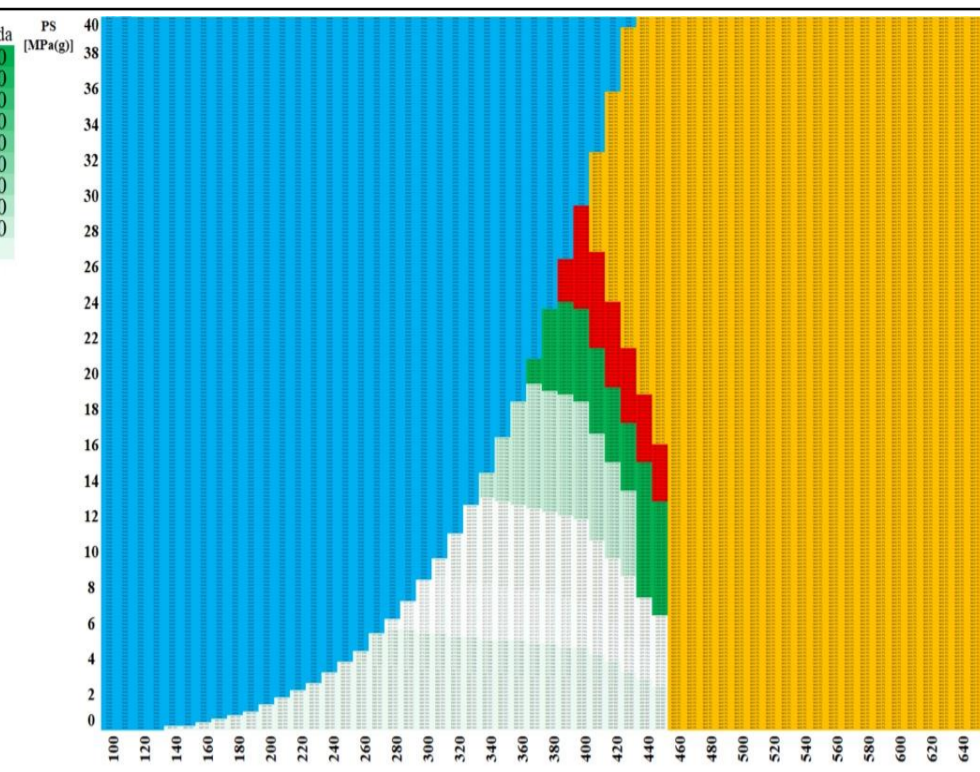
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



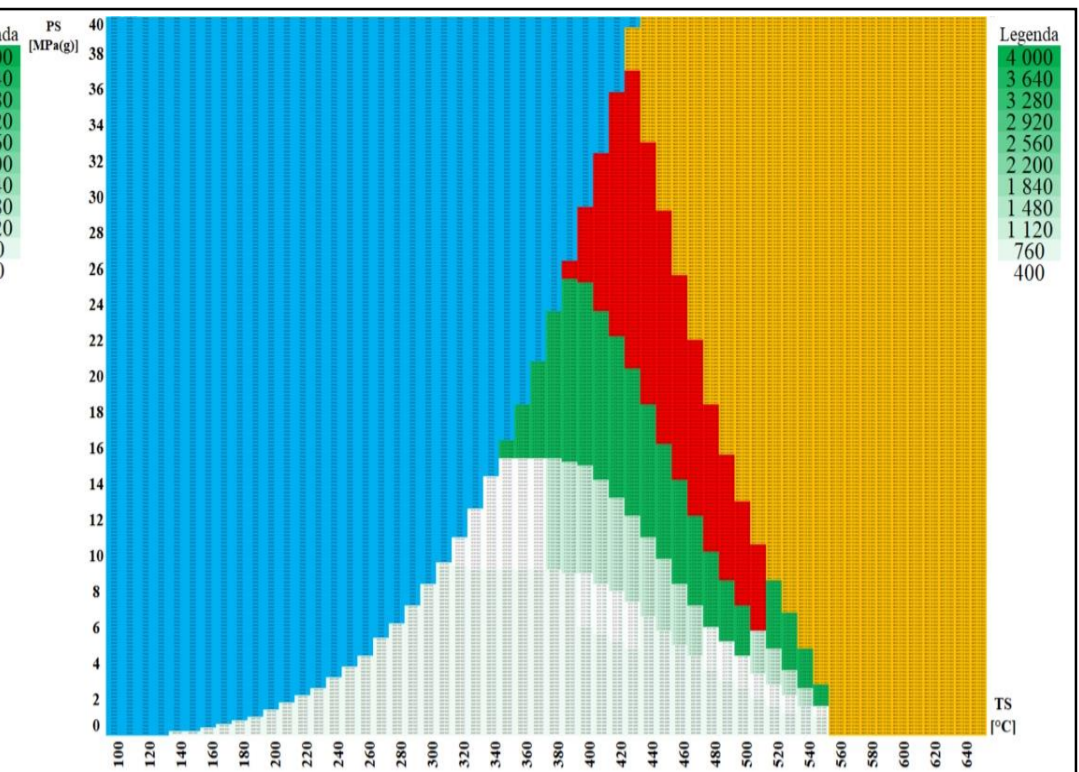
**P235GH**



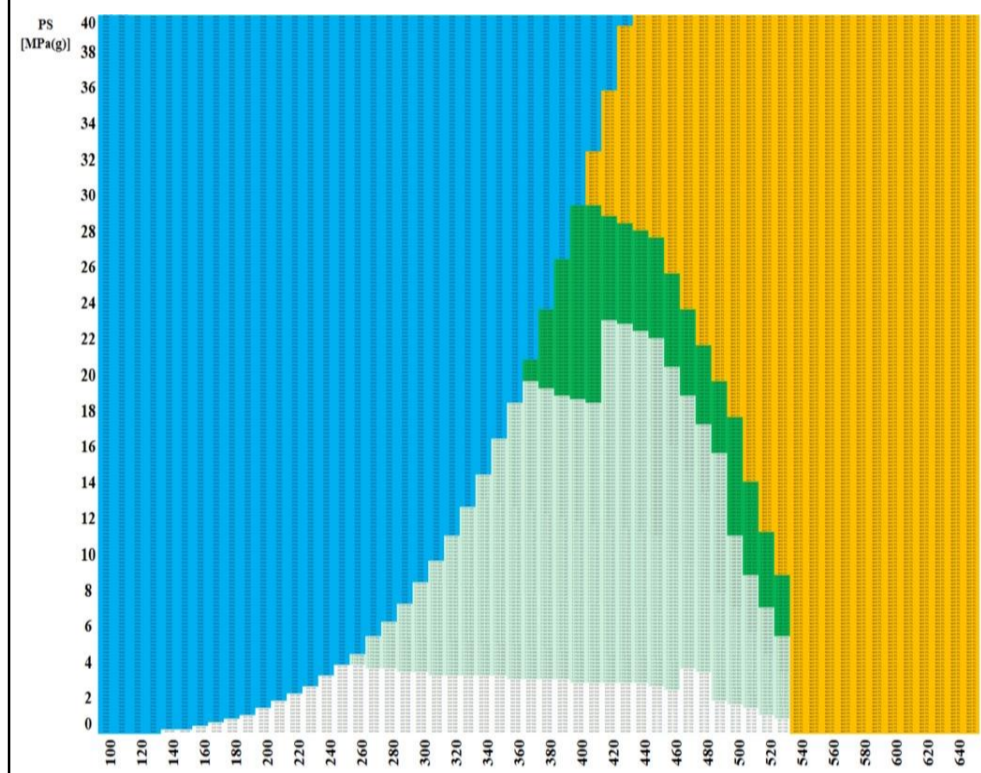
**A106-A**



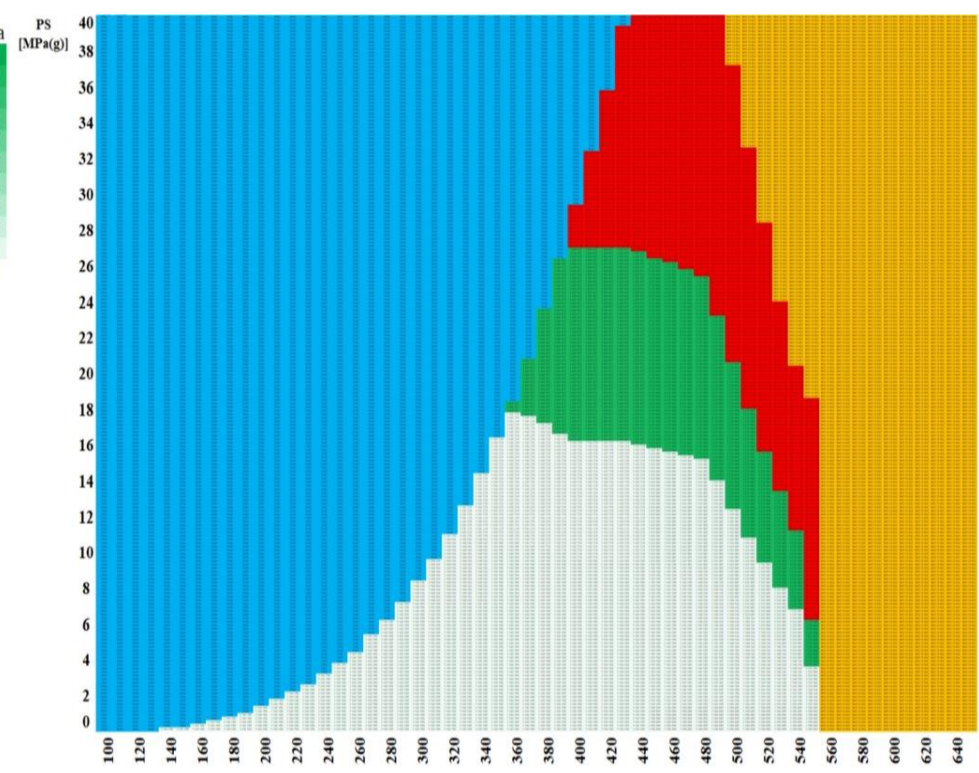
**P265GH**



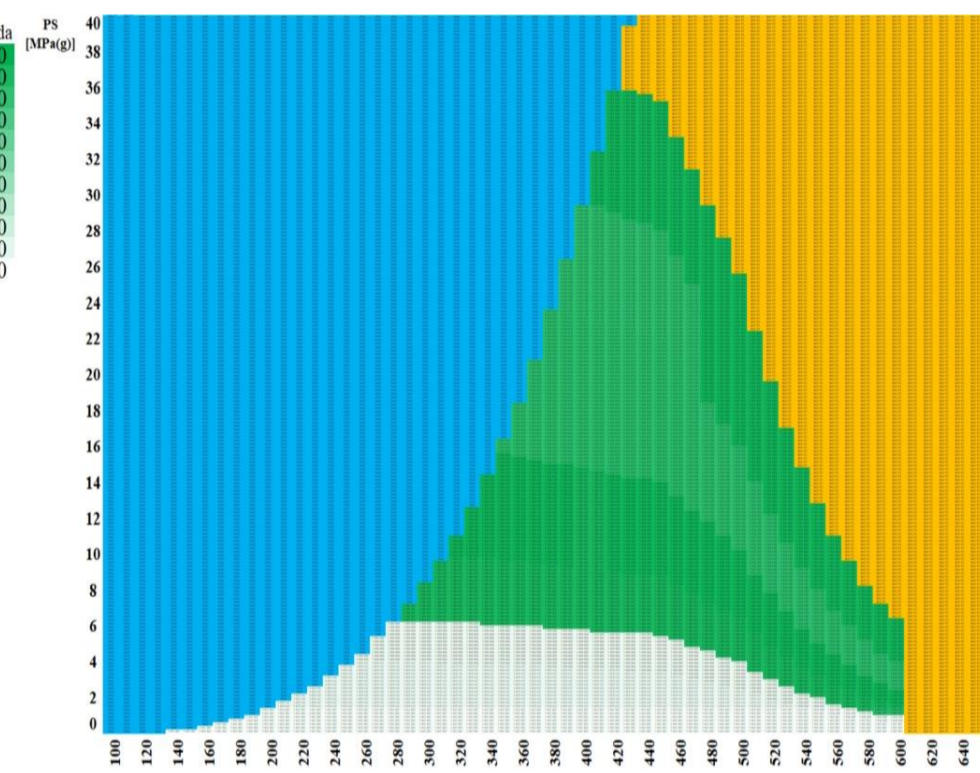
**A106-B**



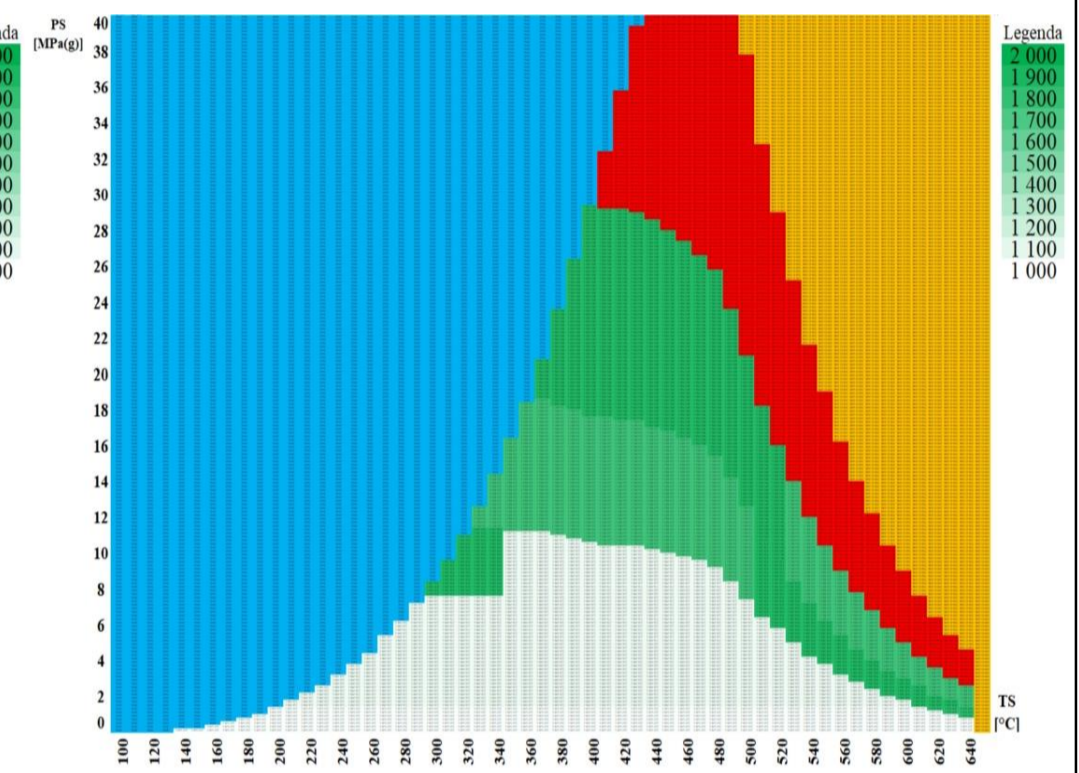
**16Mo3**



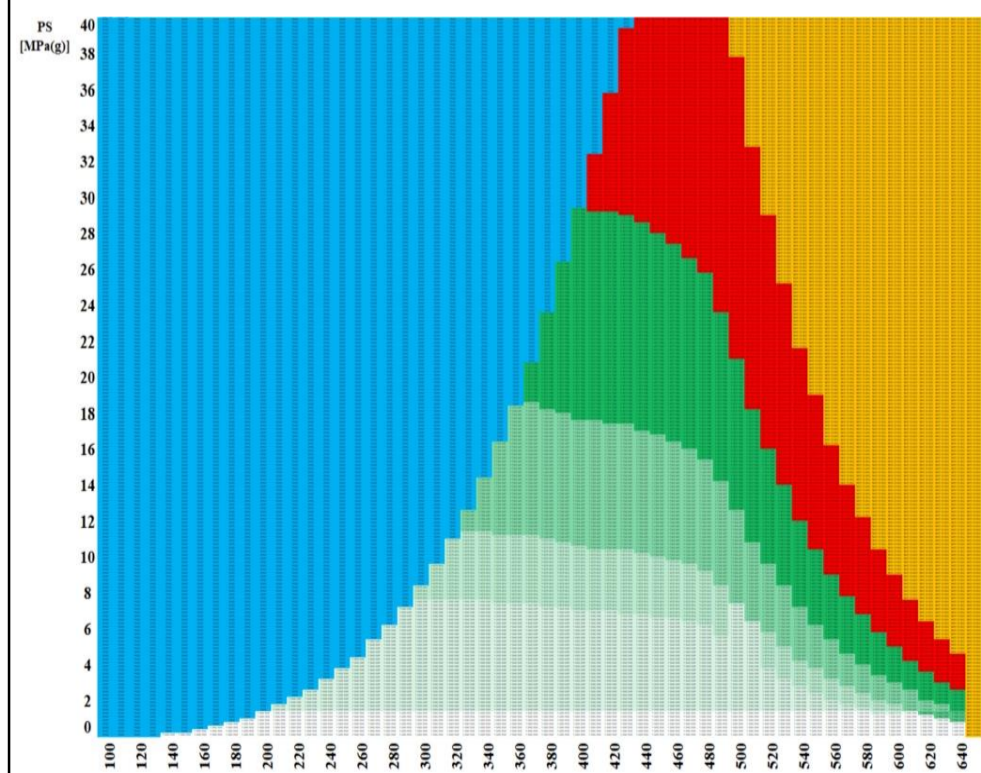
**A335-P1**



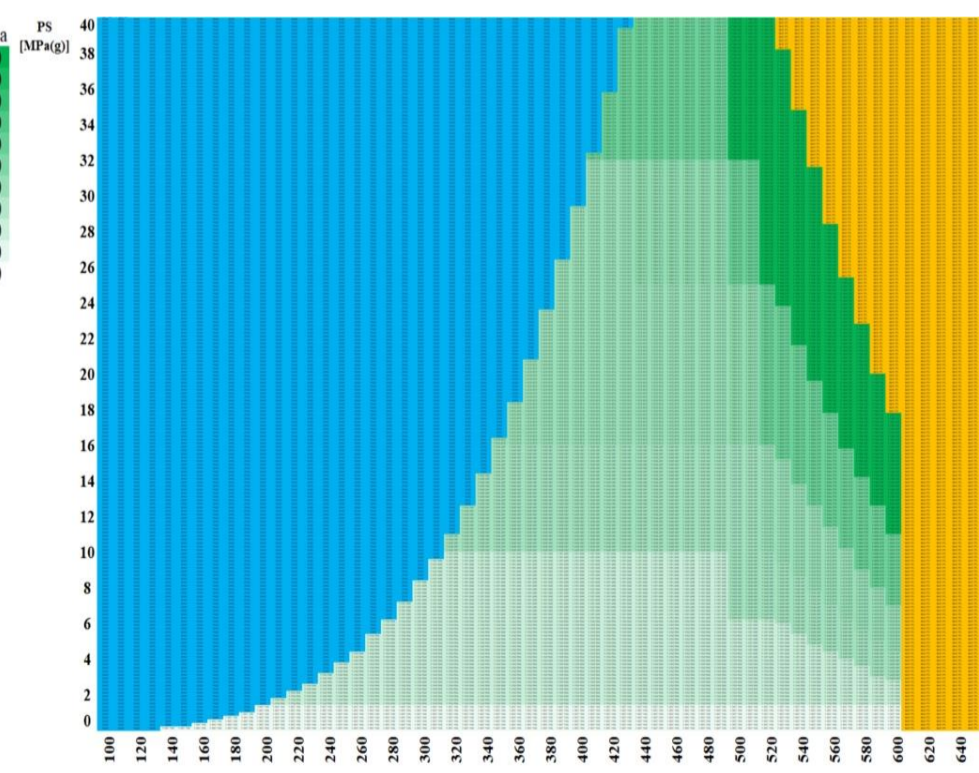
**10CrMo9-10**



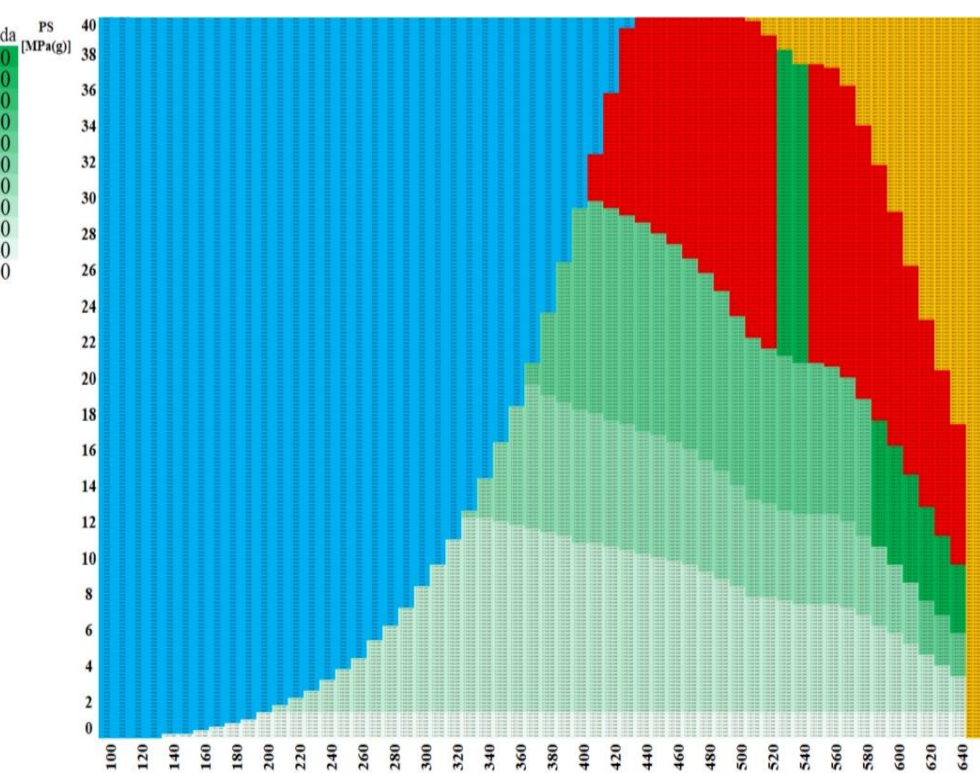
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



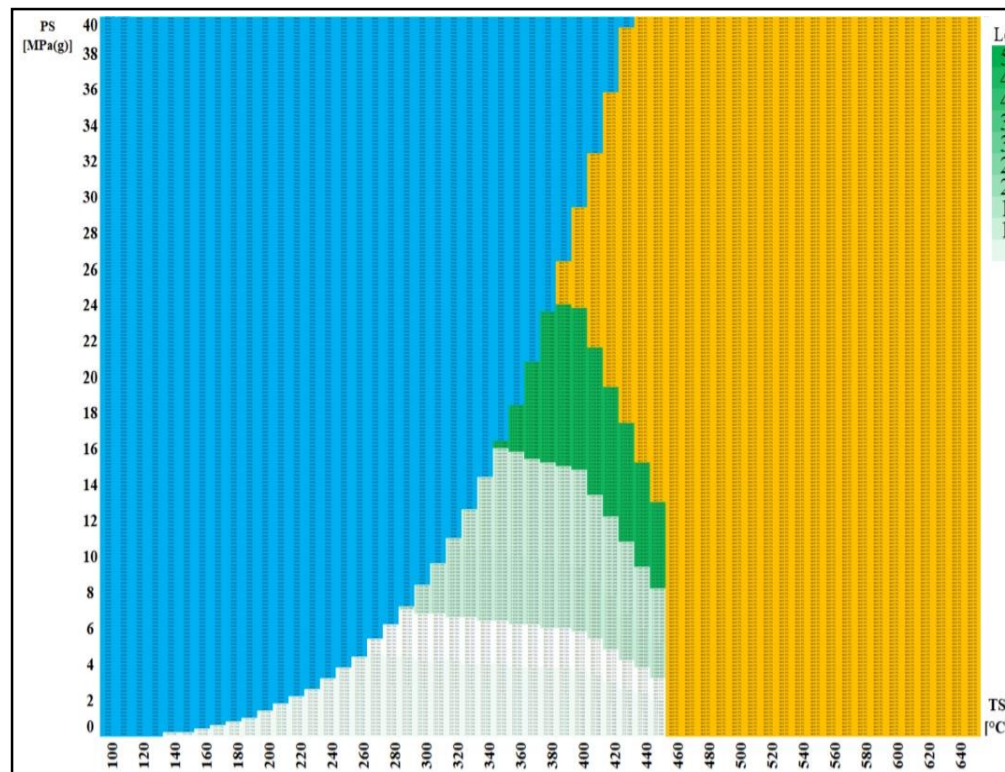
**A335 – P91**

*DN 65 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]*

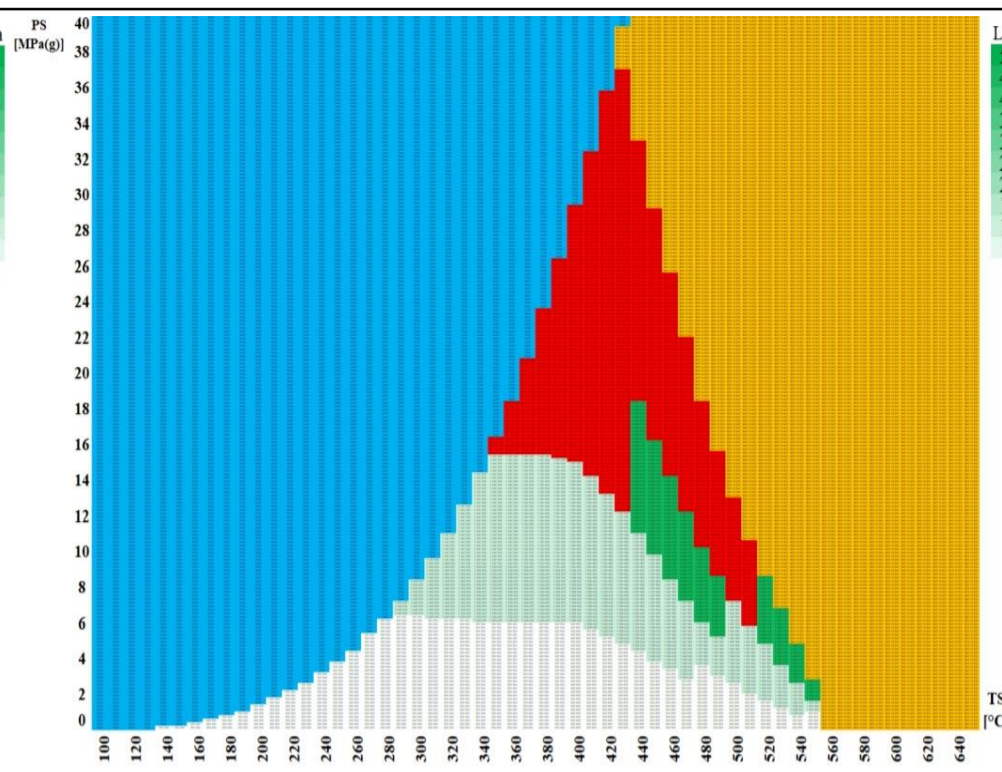
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

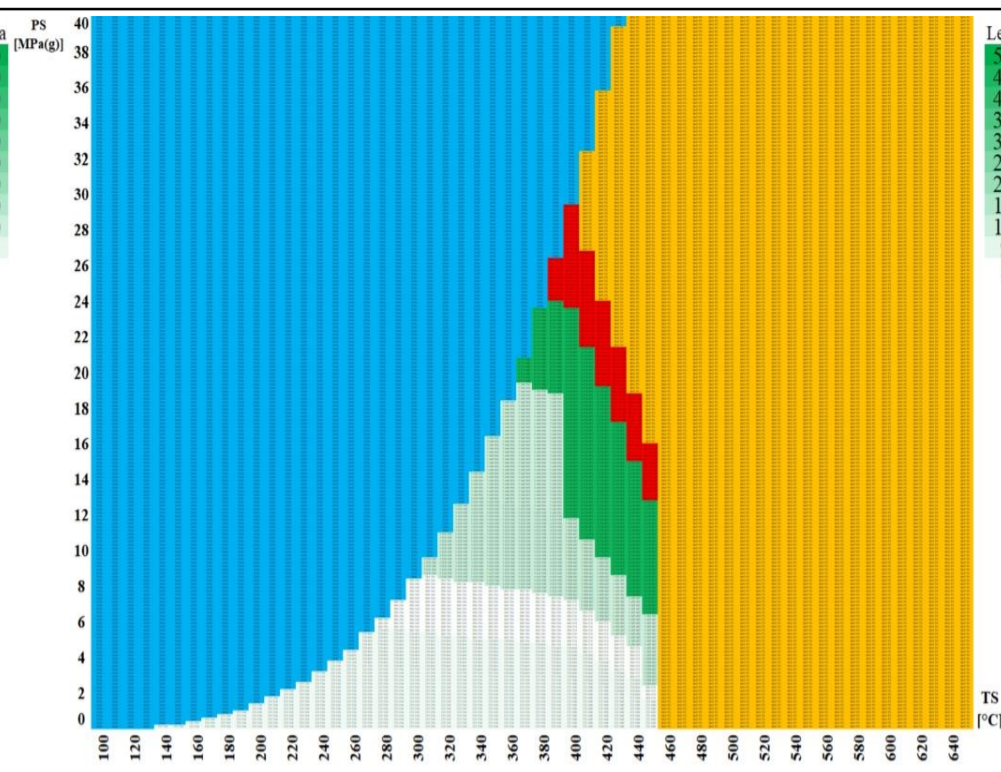
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



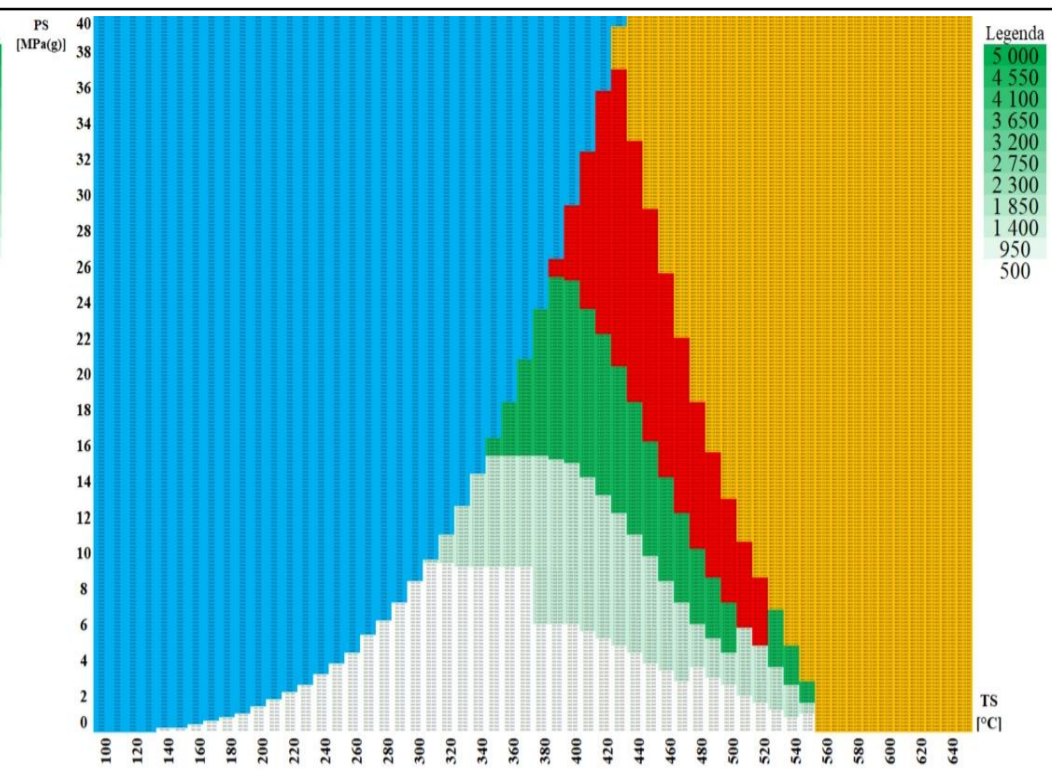
**P235GH**



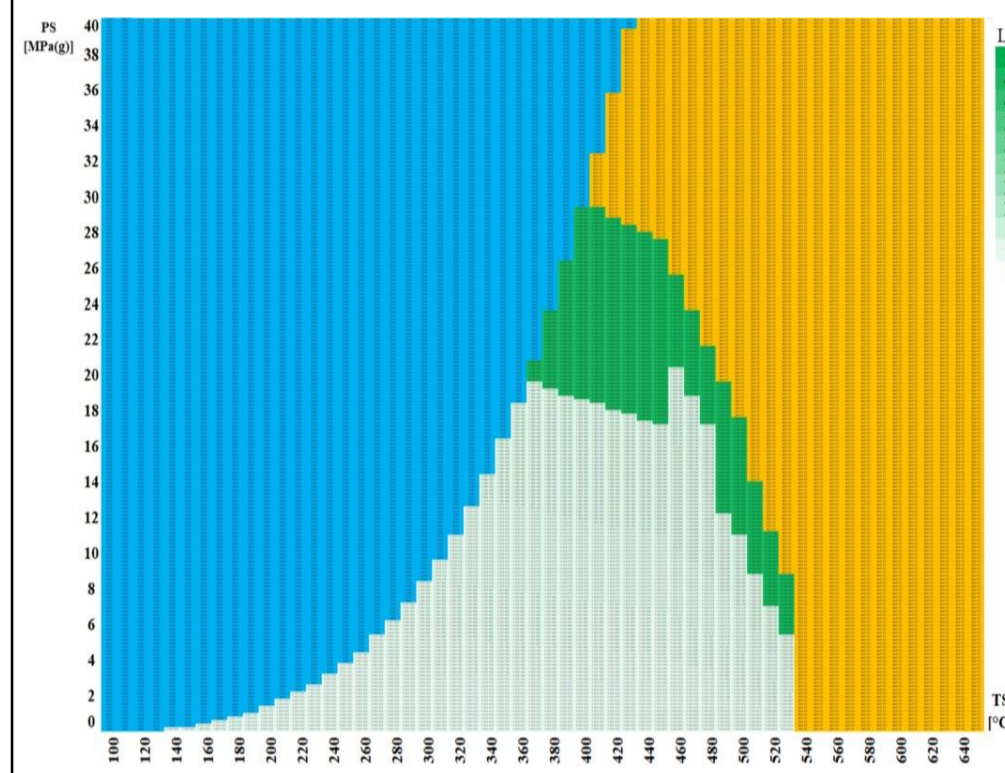
**A106-A**



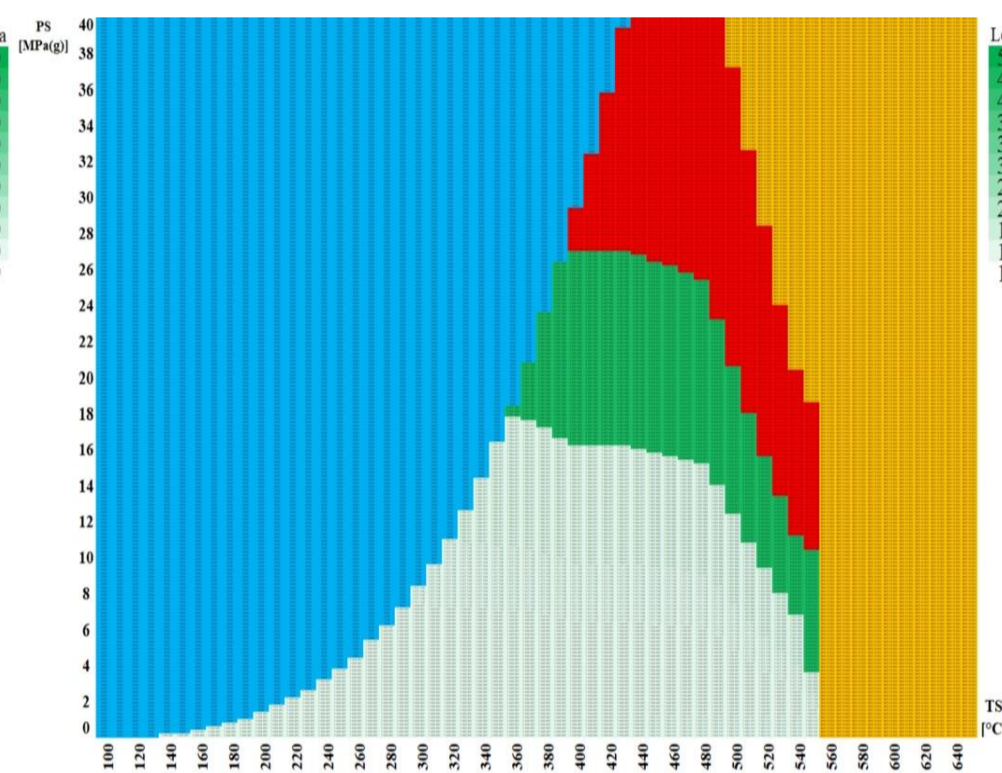
**P265GH**



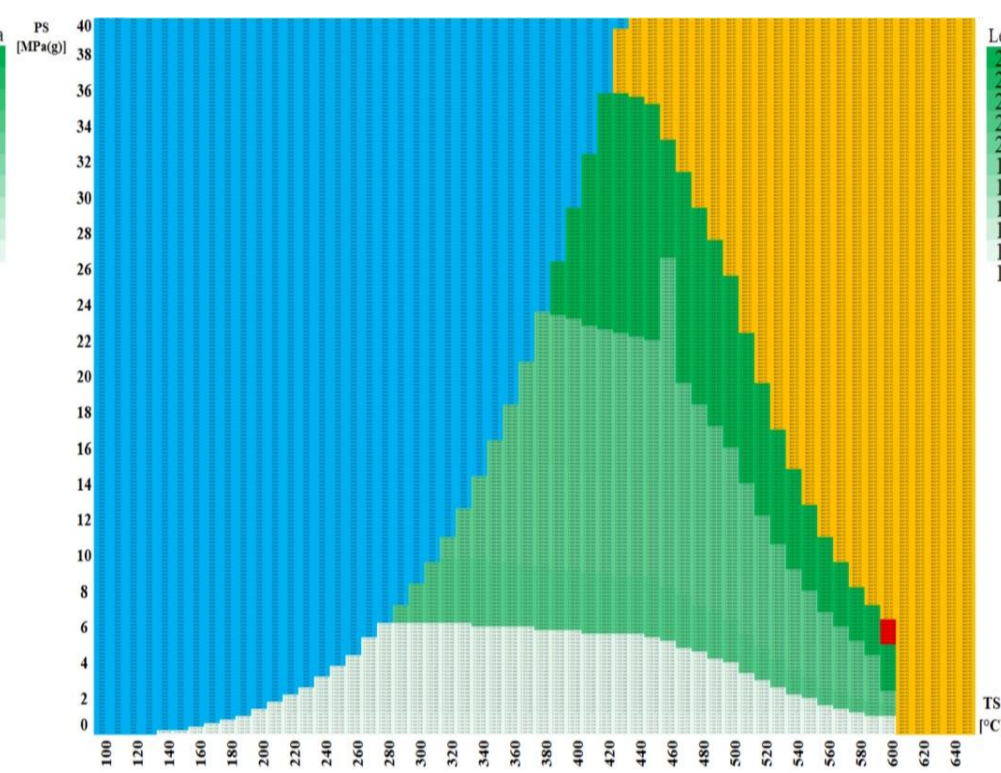
**A106-B**



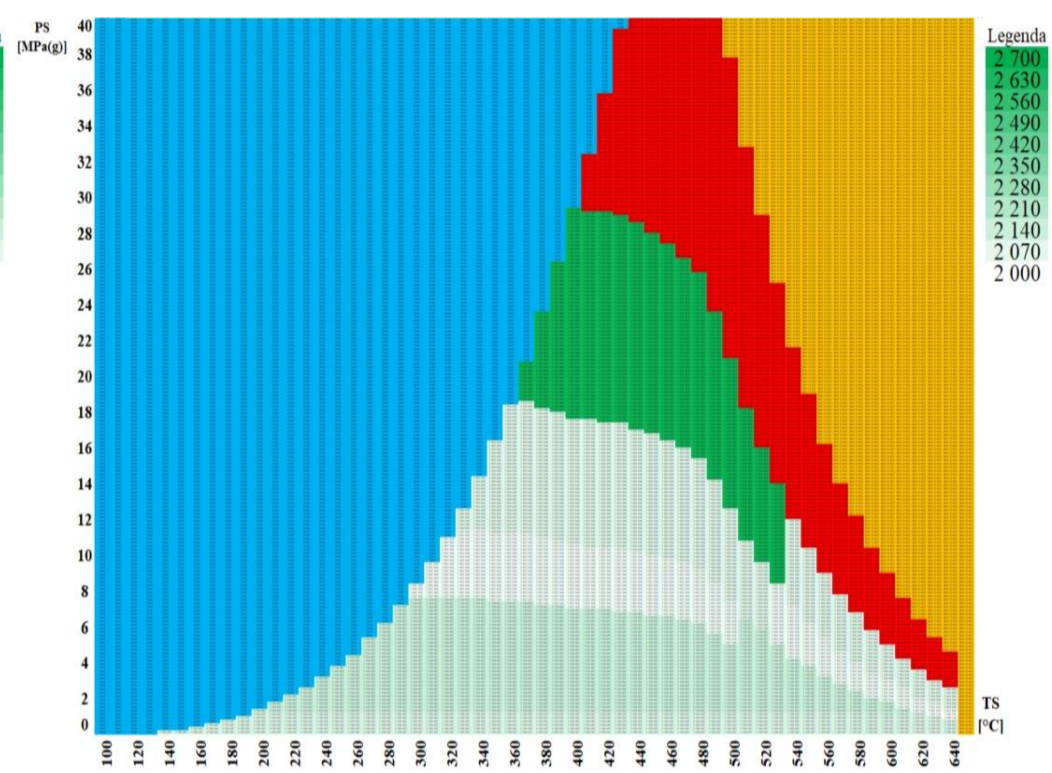
**16Mo3**



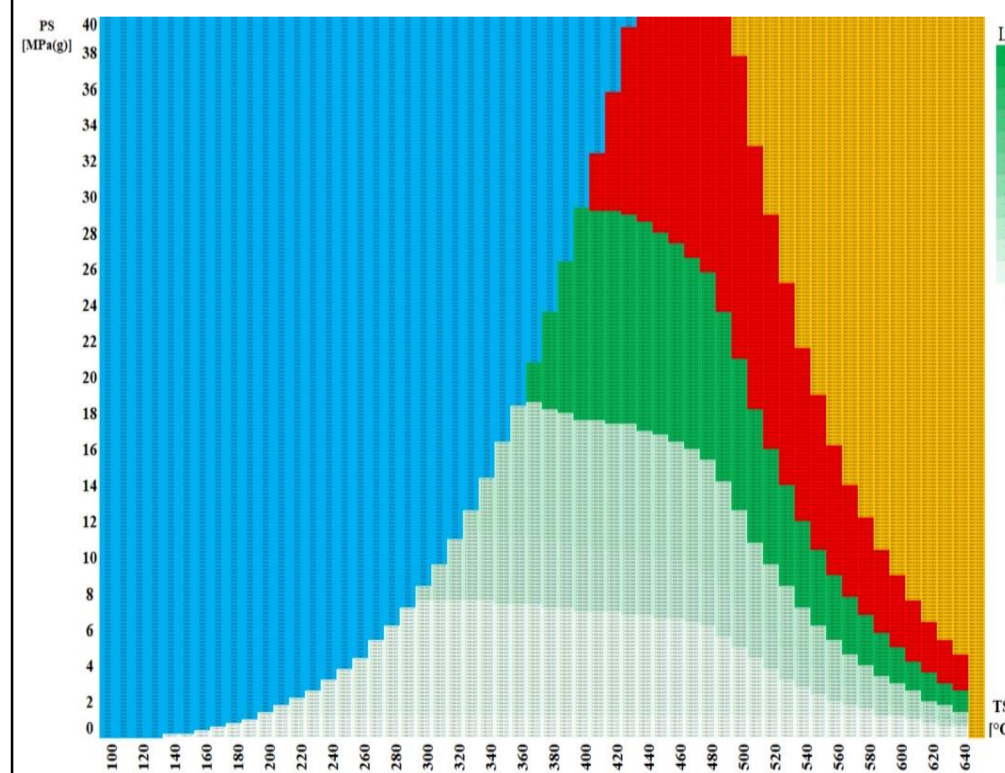
**A335-P1**



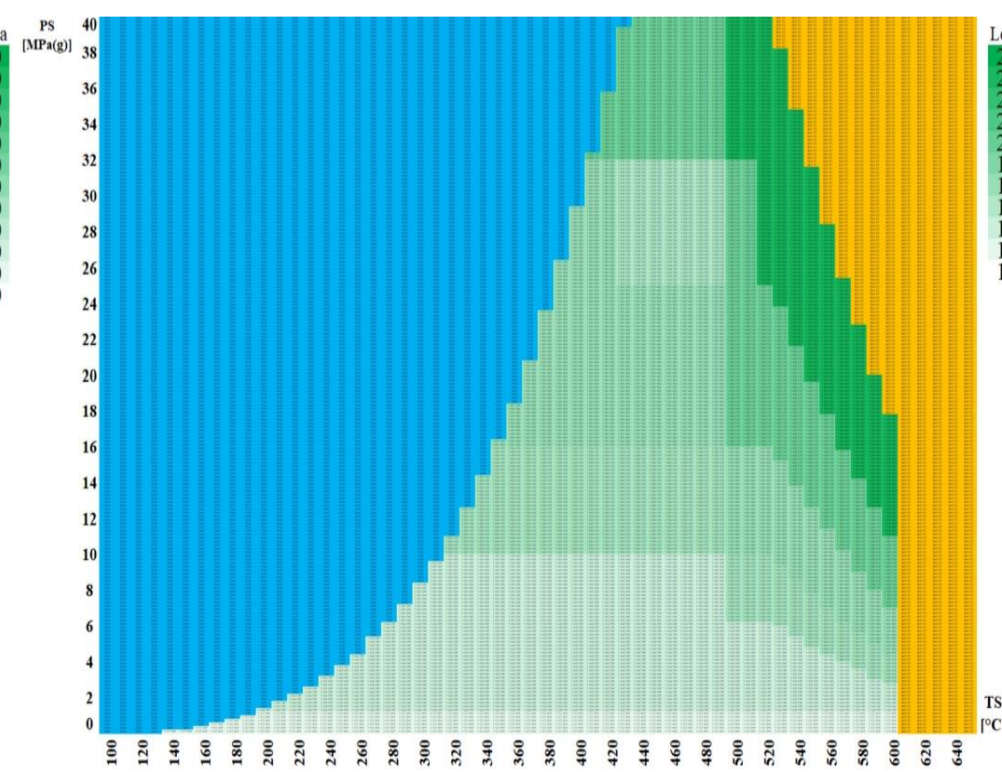
**10CrMo9-10**



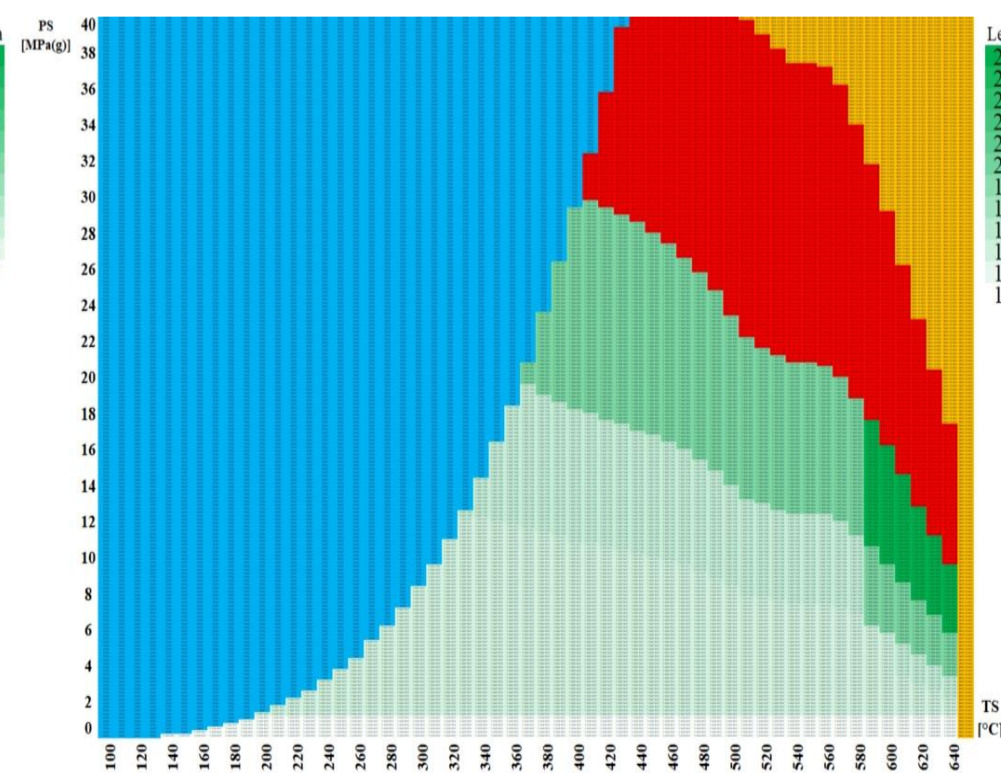
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 - P91**

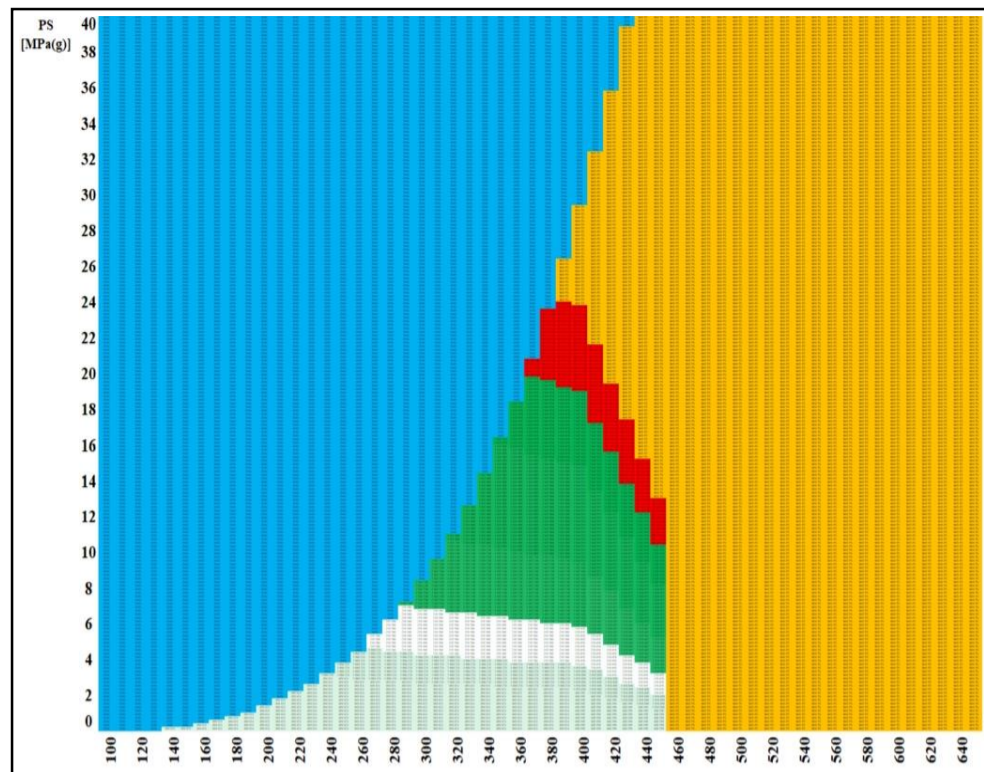
*DN 80 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]*

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

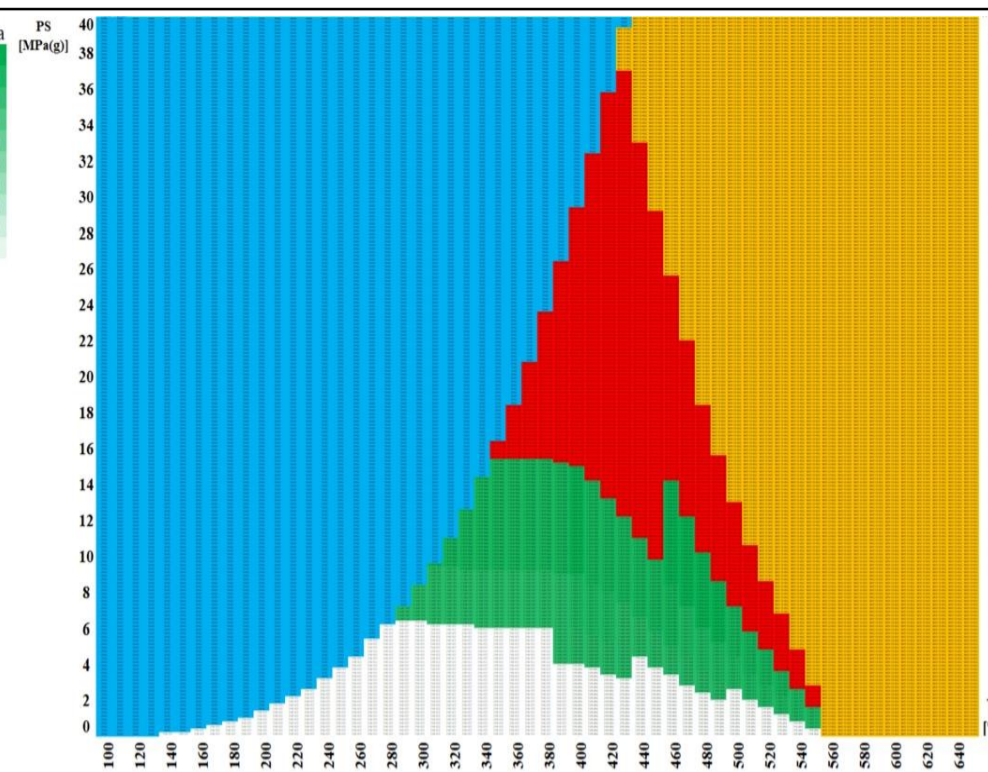
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

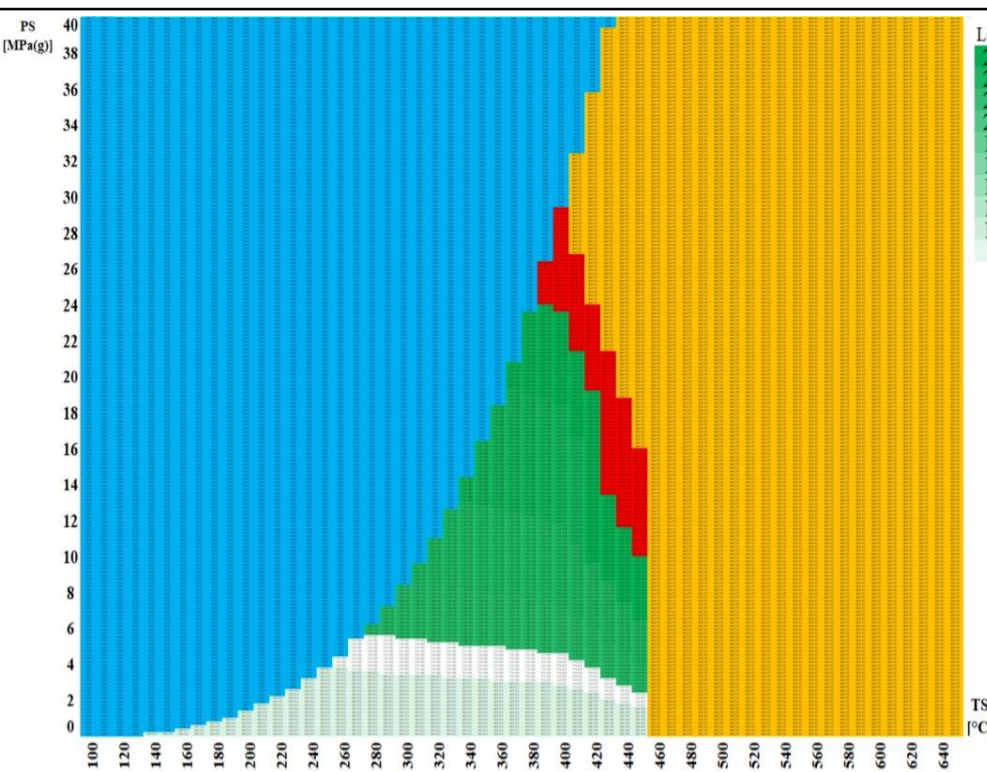




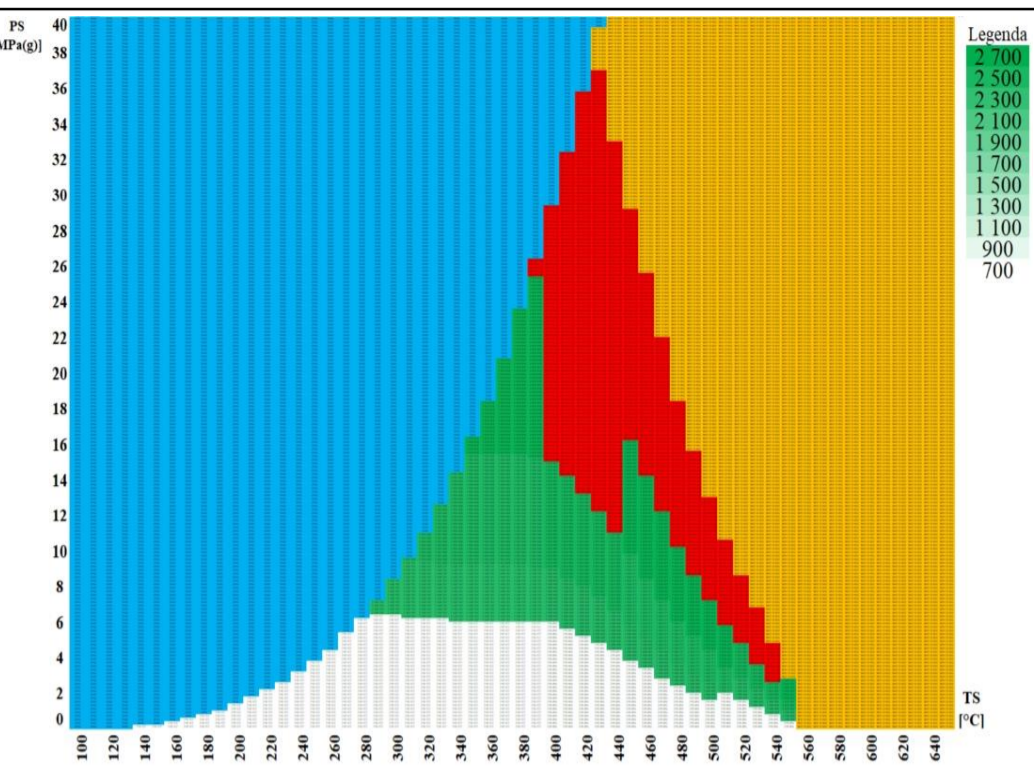
**P235GH**



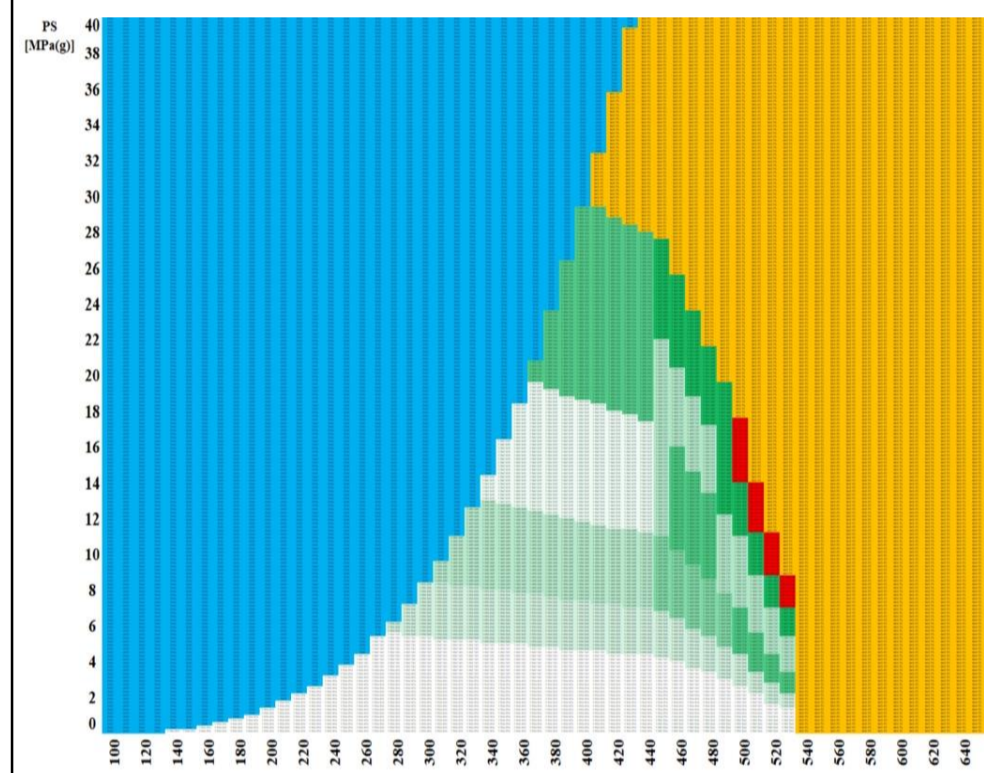
**A106-A**



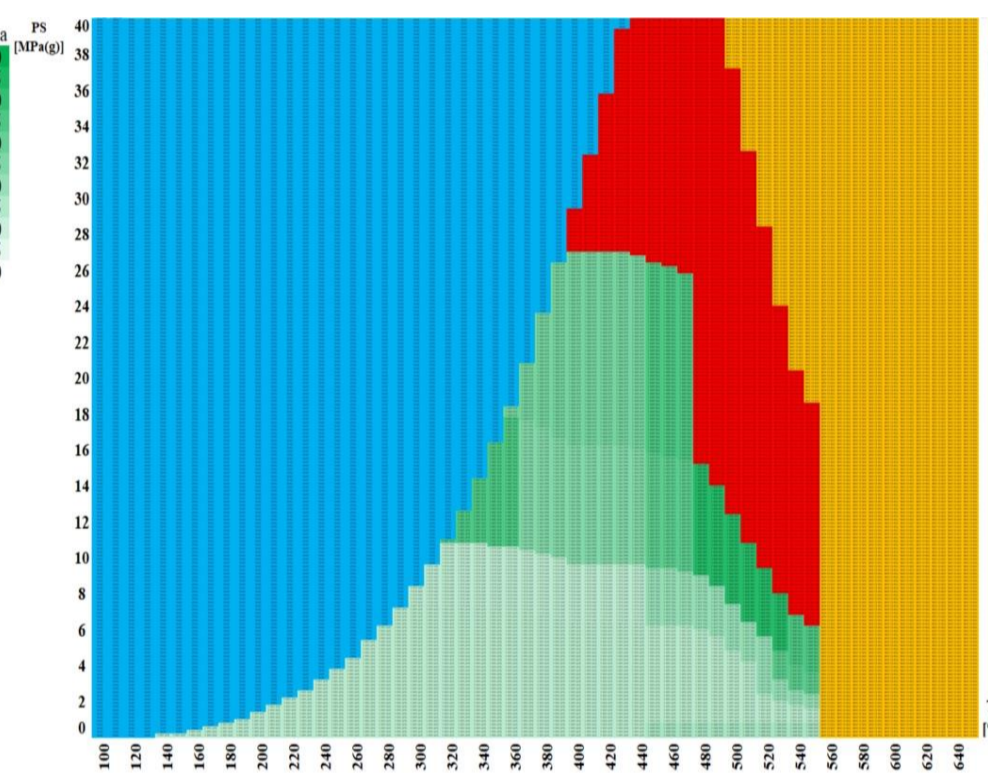
**P265GH**



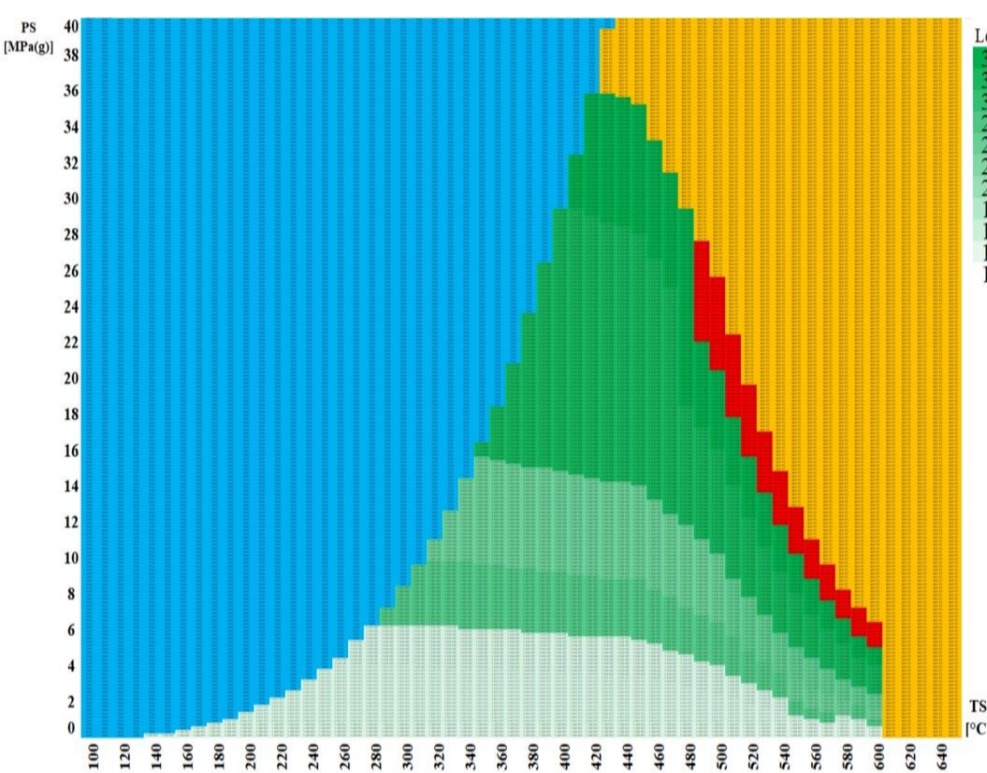
**A106-B**



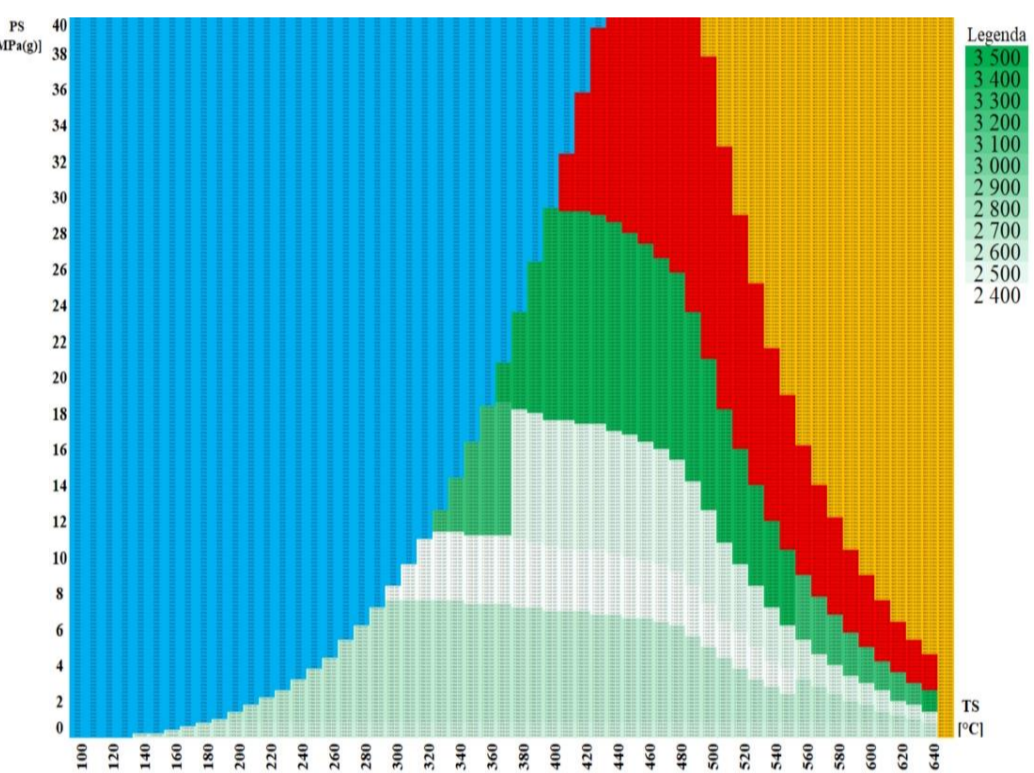
**16Mo3**



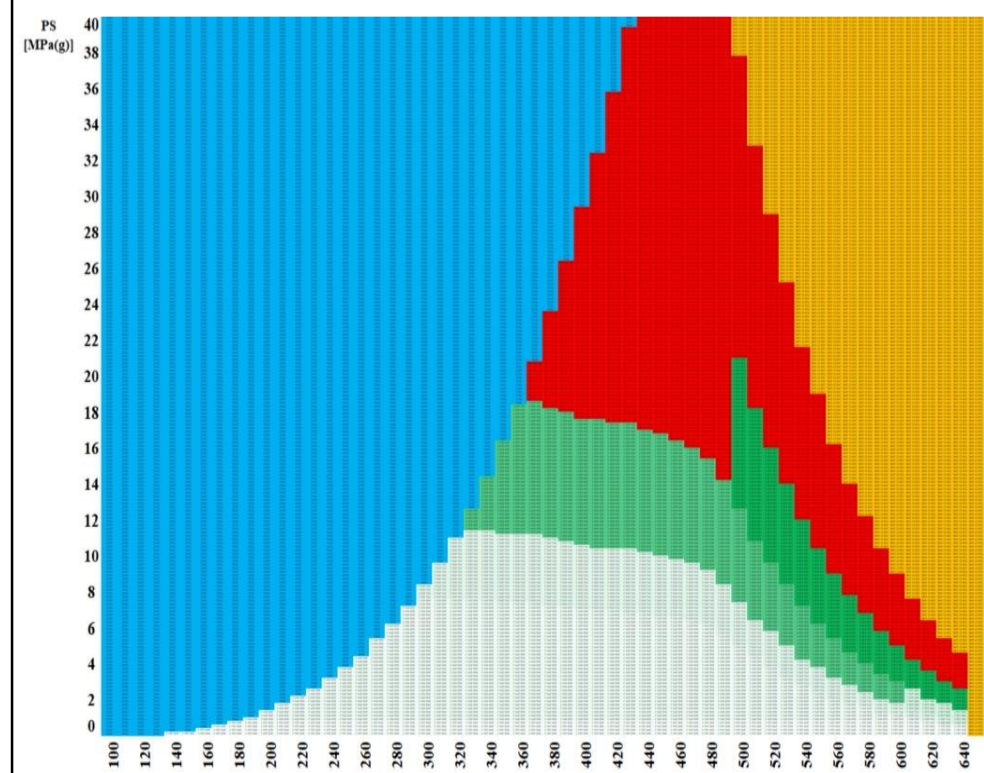
**A335-P1**



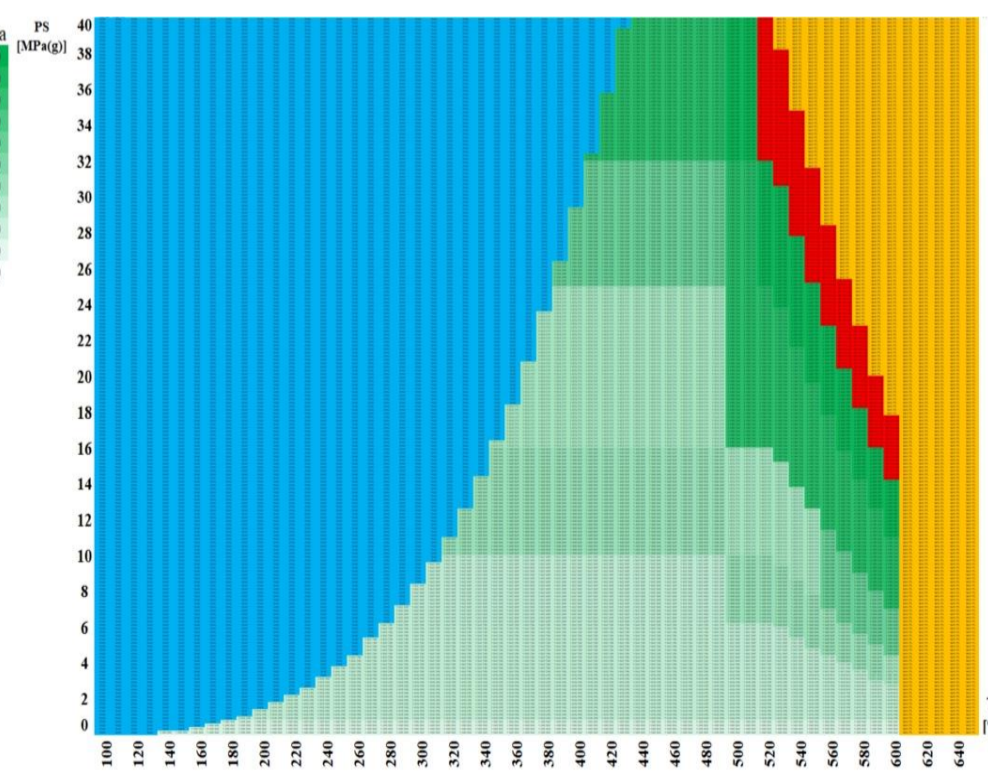
**10CrMo9-10**



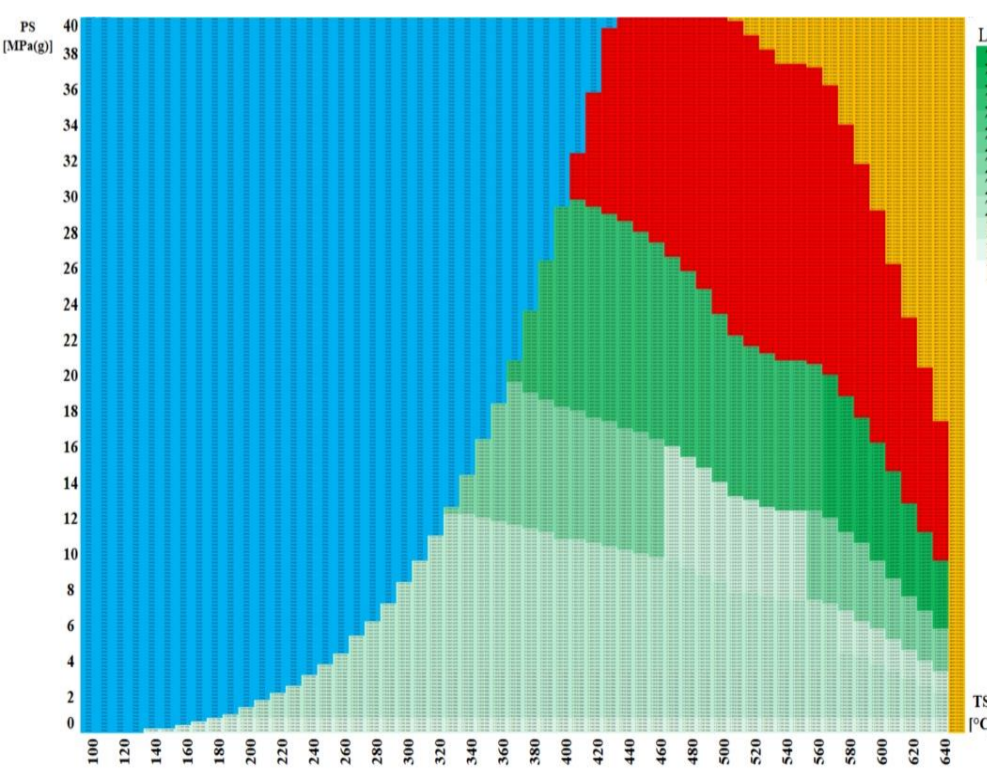
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



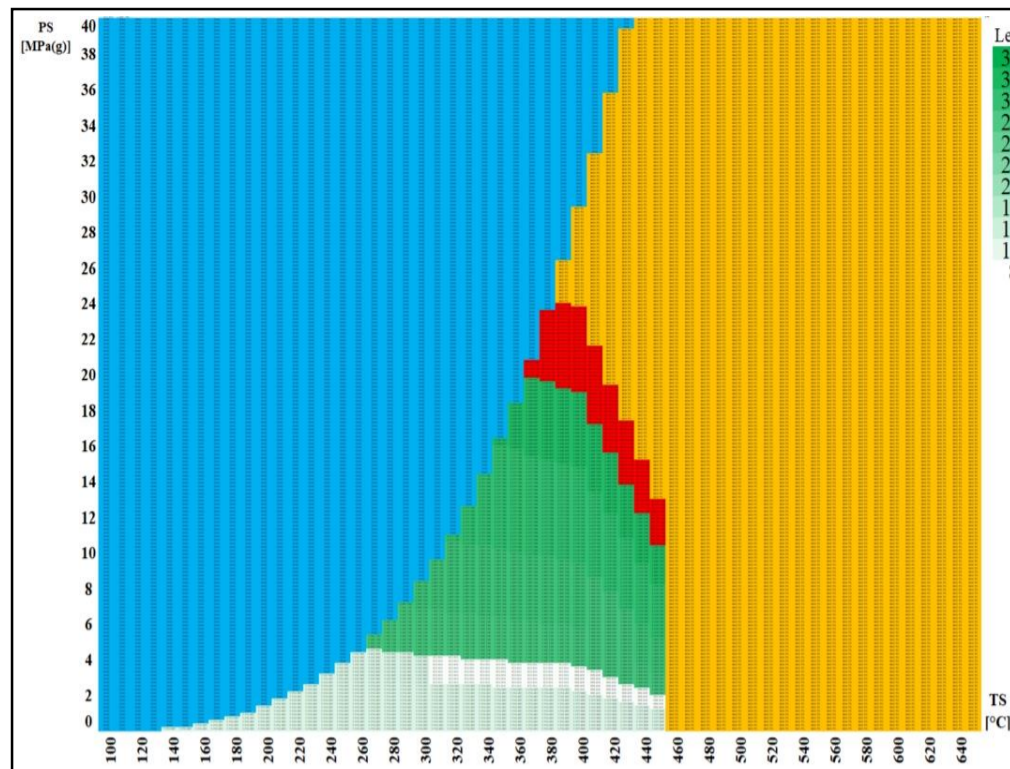
**A335 - P91**

***DN 100 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]***

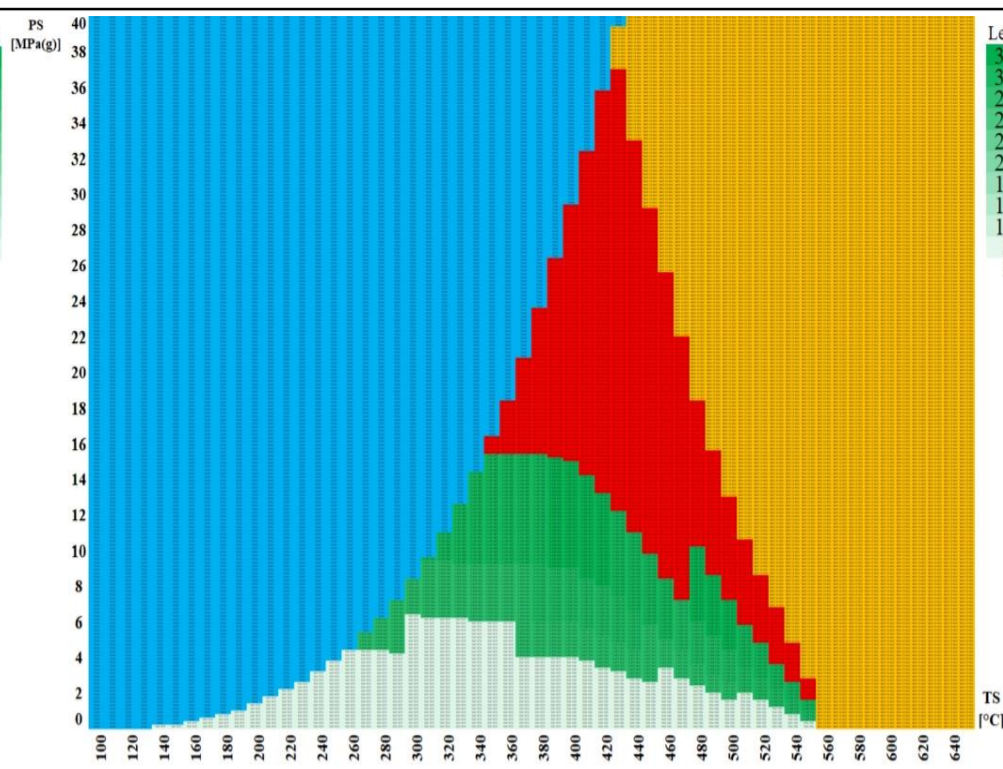
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

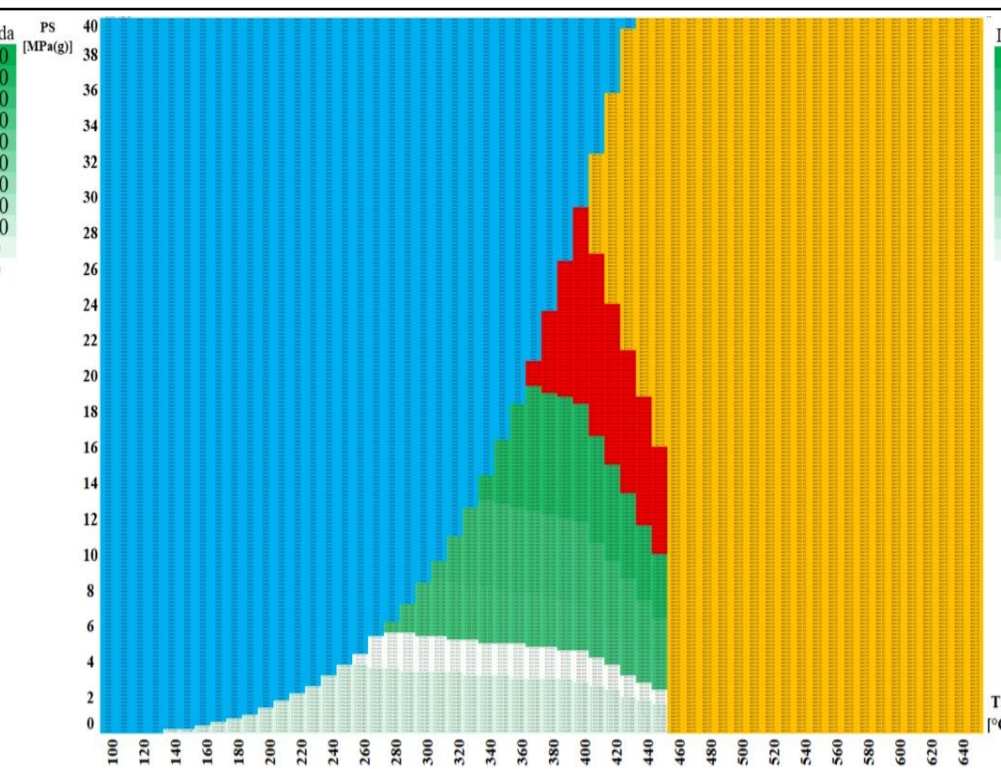
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



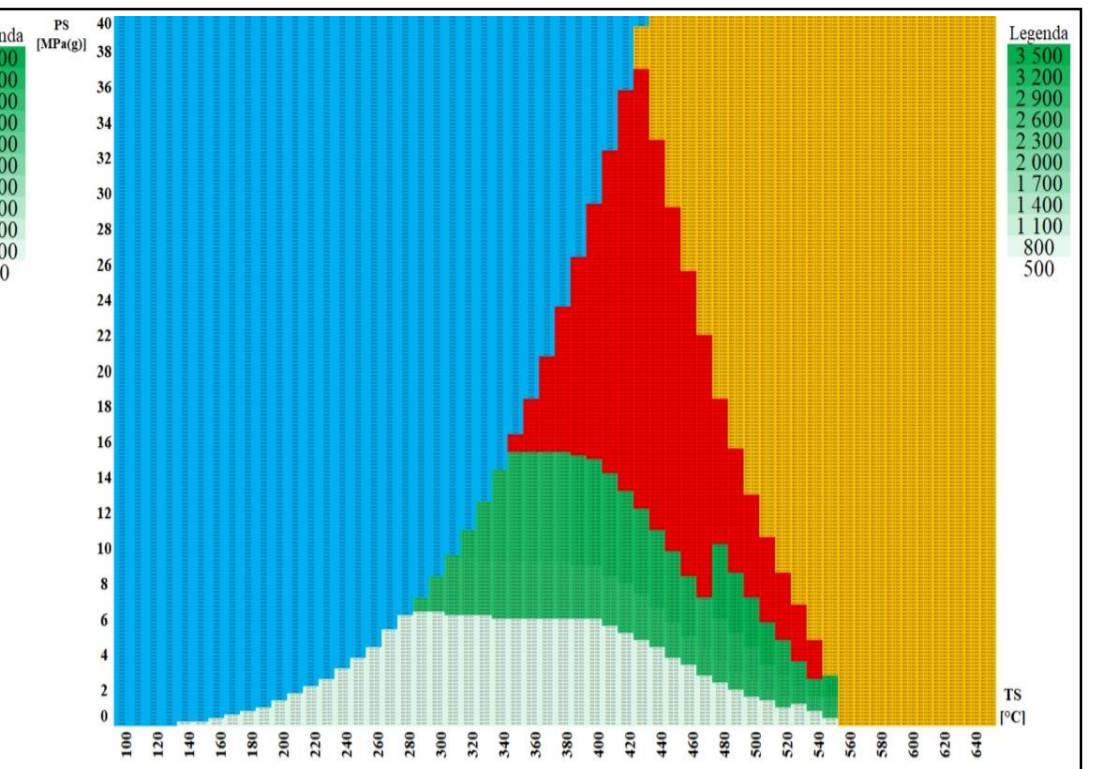
**P235GH**



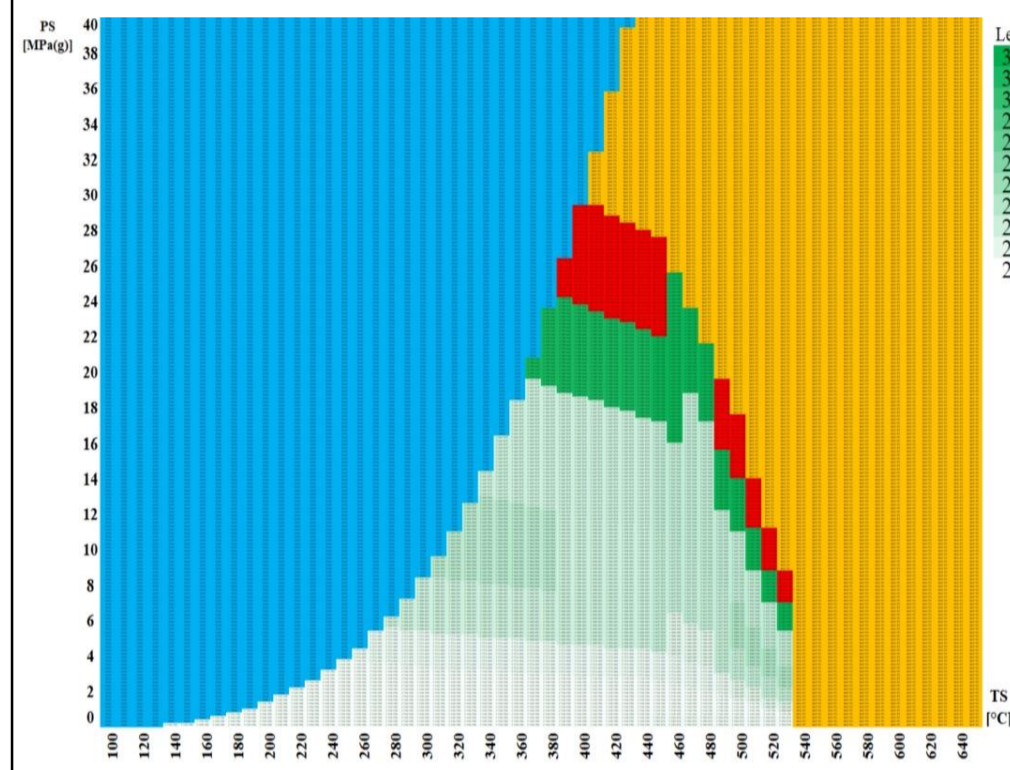
**A106-A**



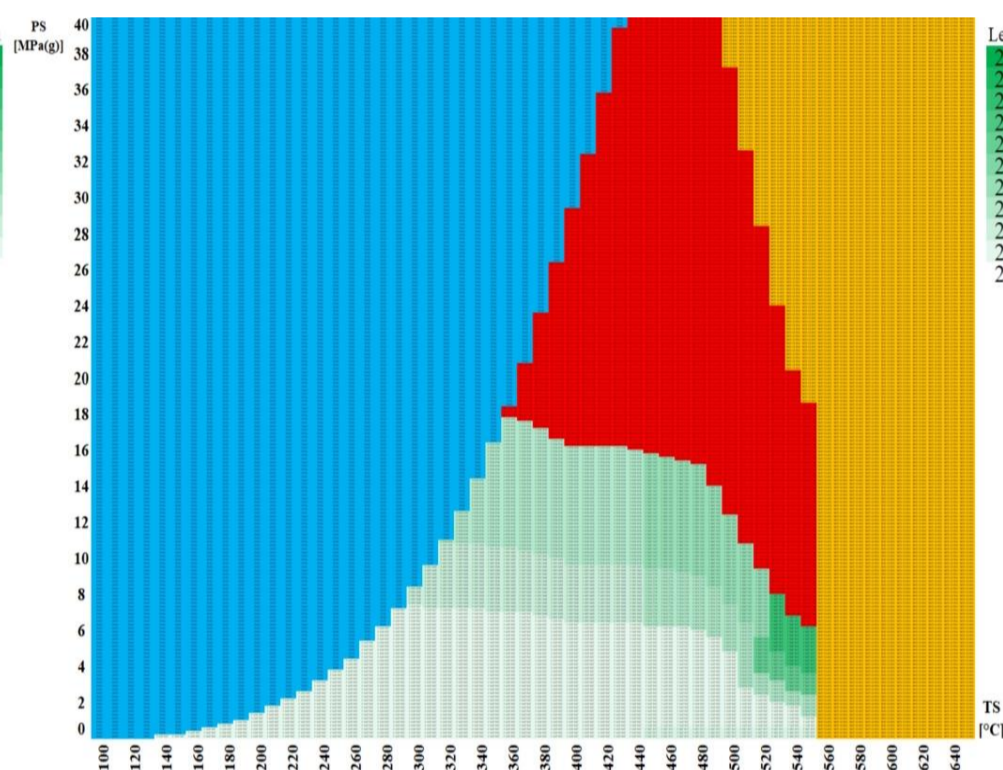
**P265GH**



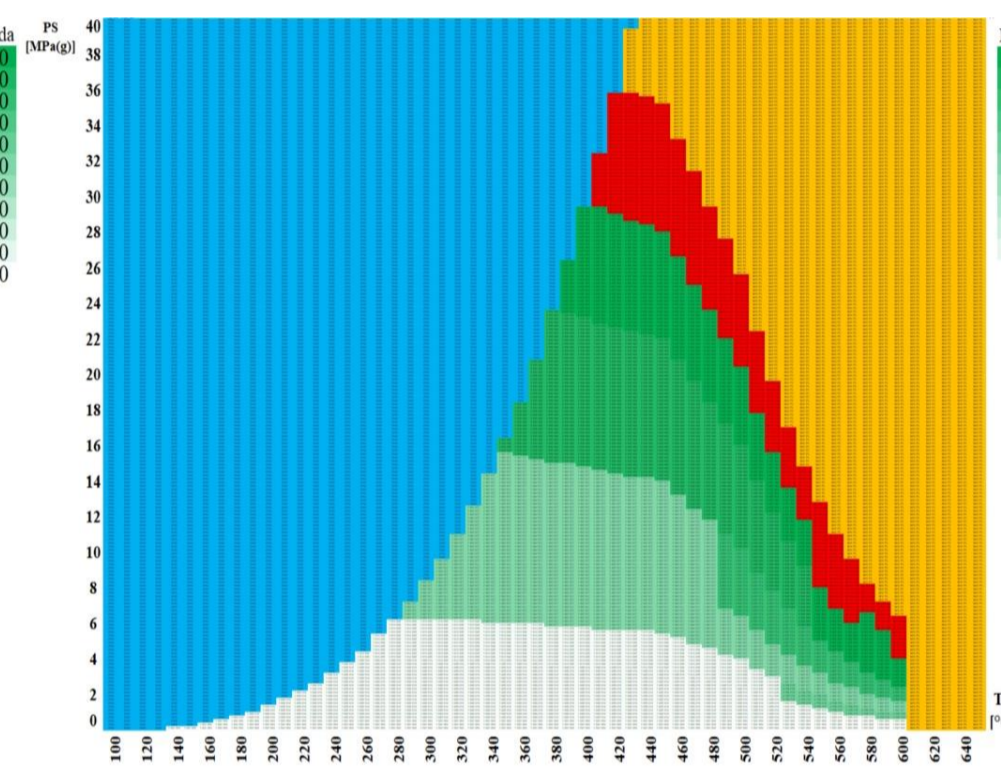
**A106-B**



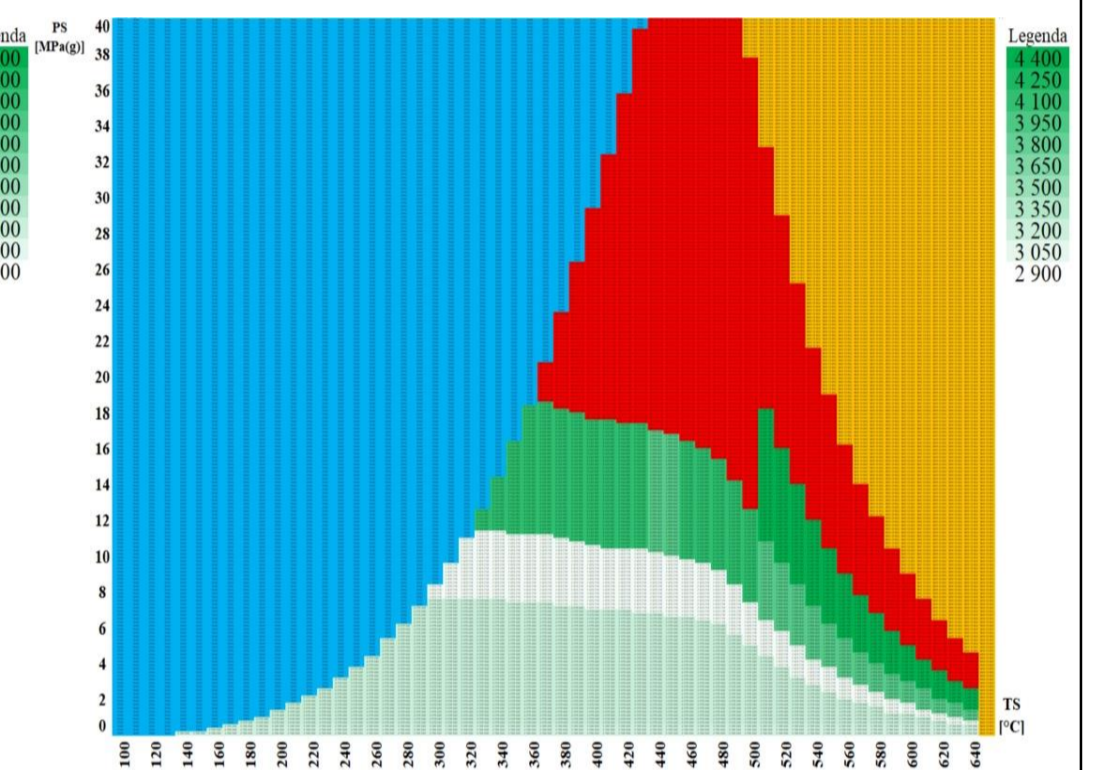
**16Mo3**



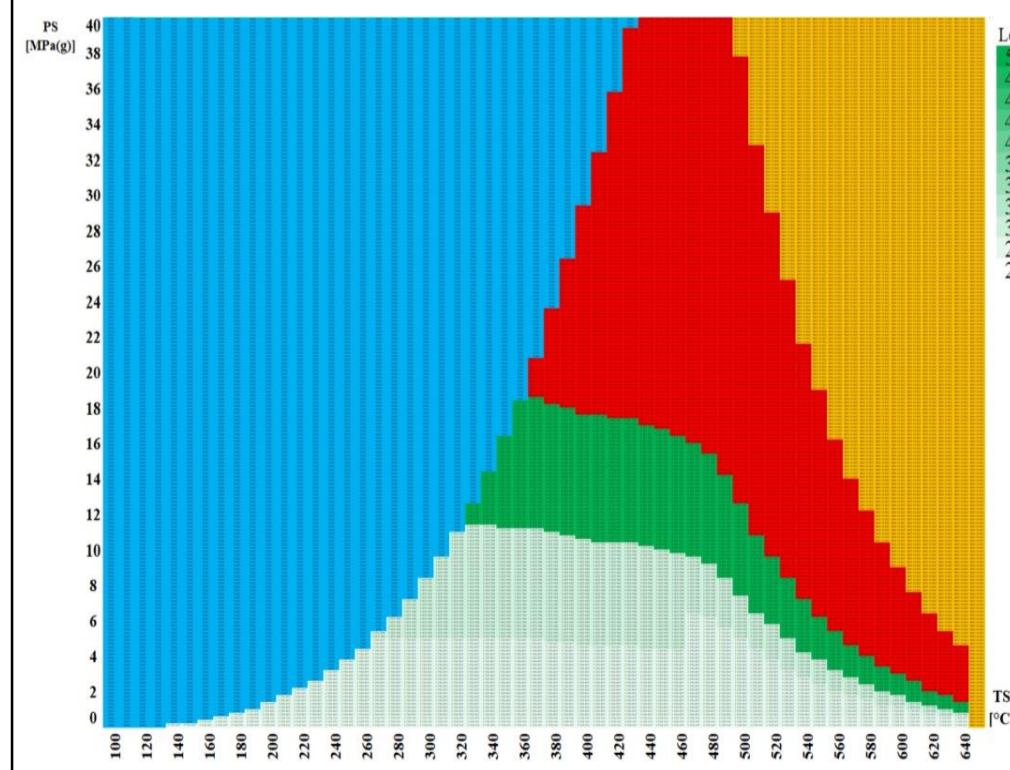
**A335-P1**



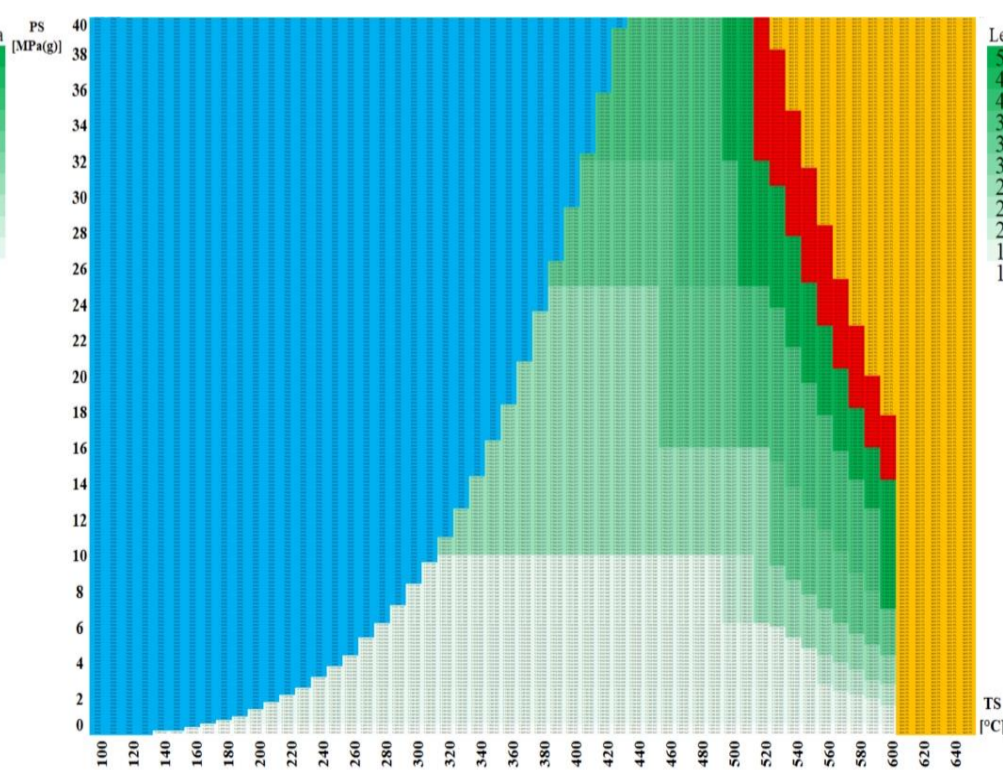
**10CrMo9-10**



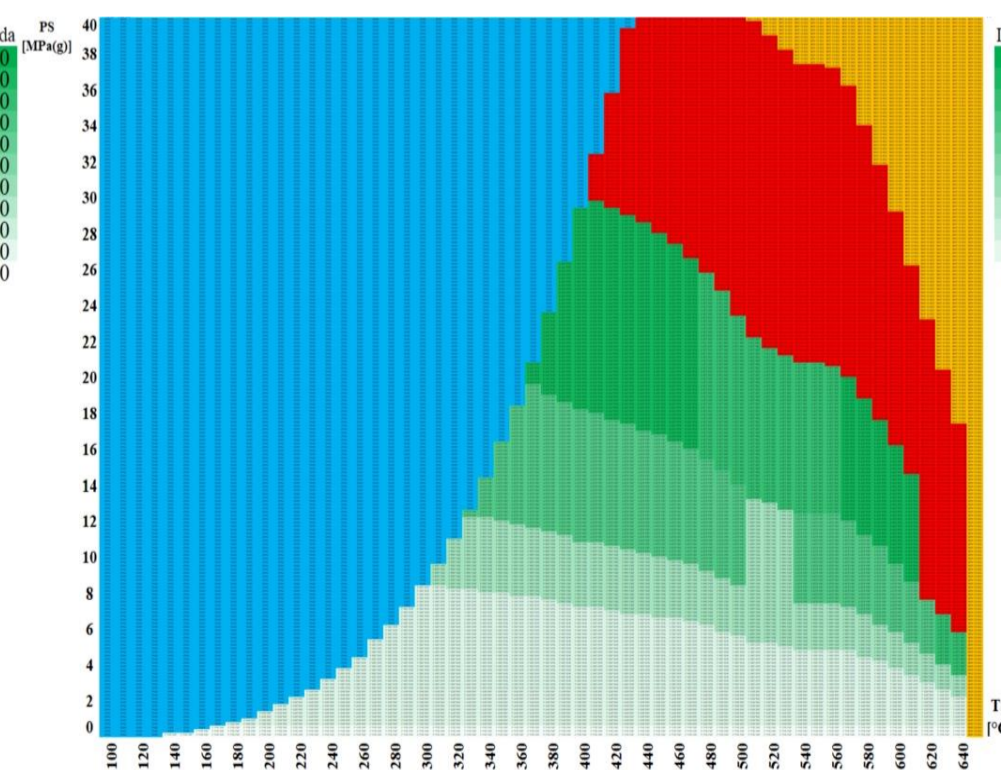
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



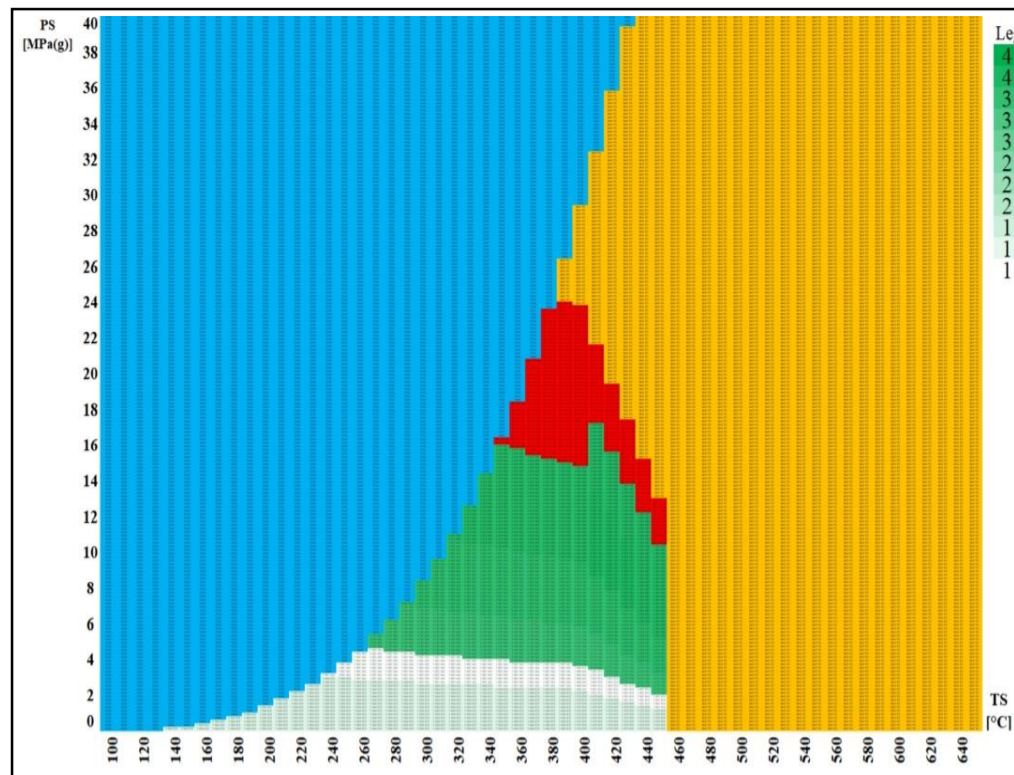
**A335 – P91**

***DN 125 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]***

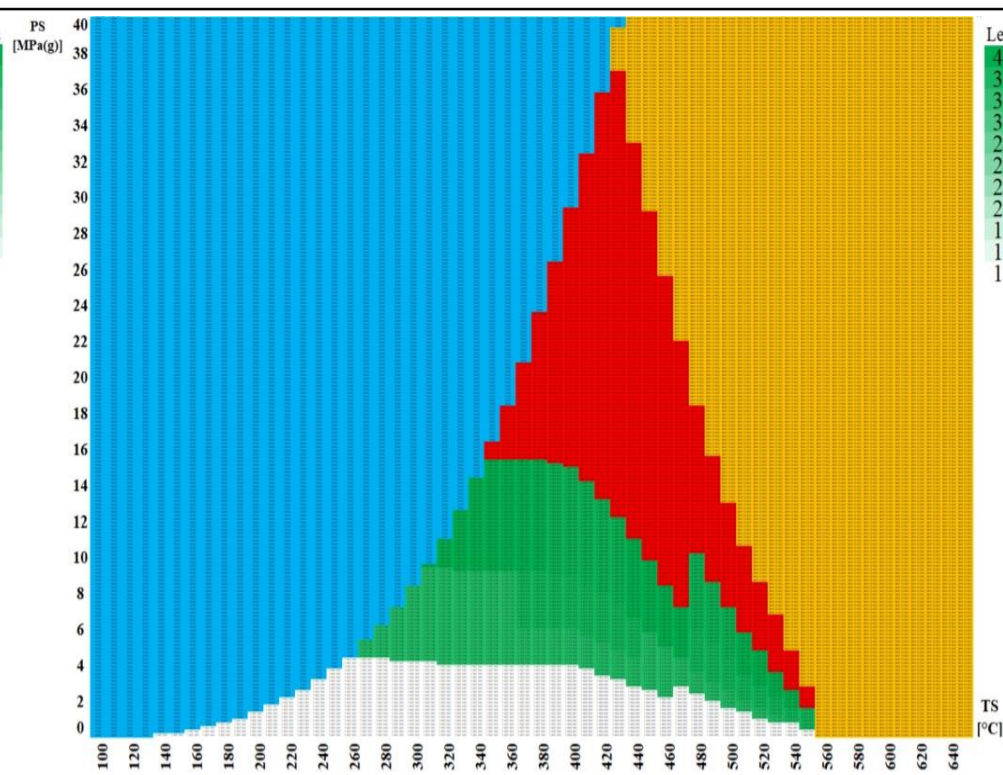
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

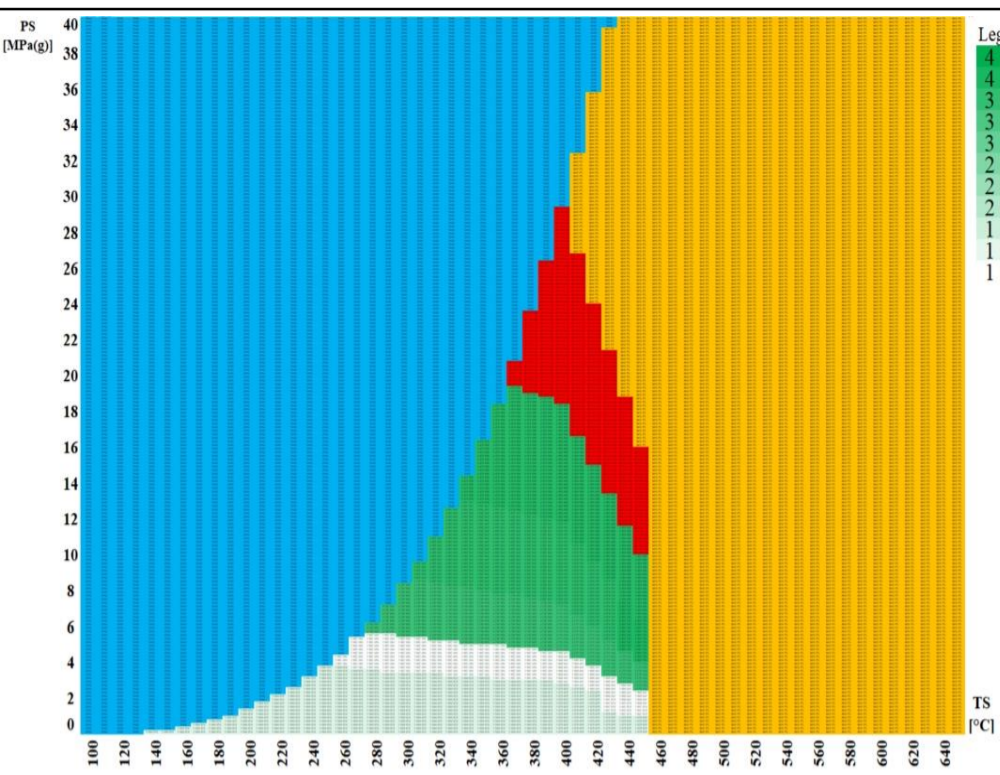
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



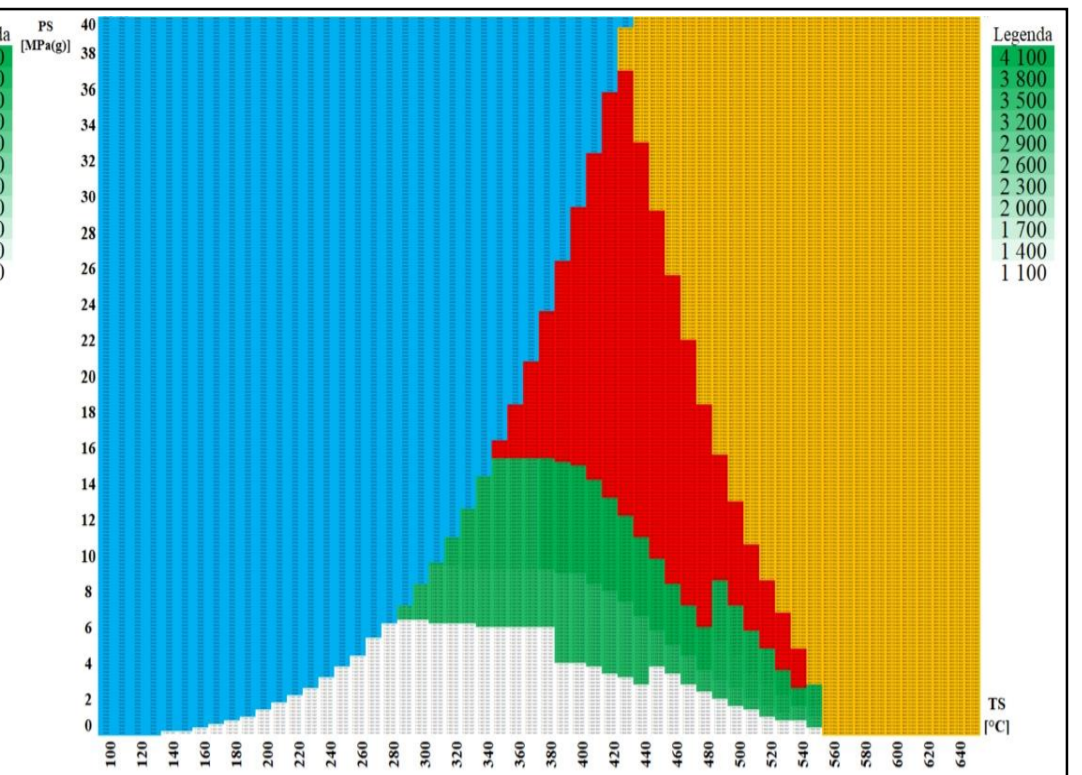
**P235GH**



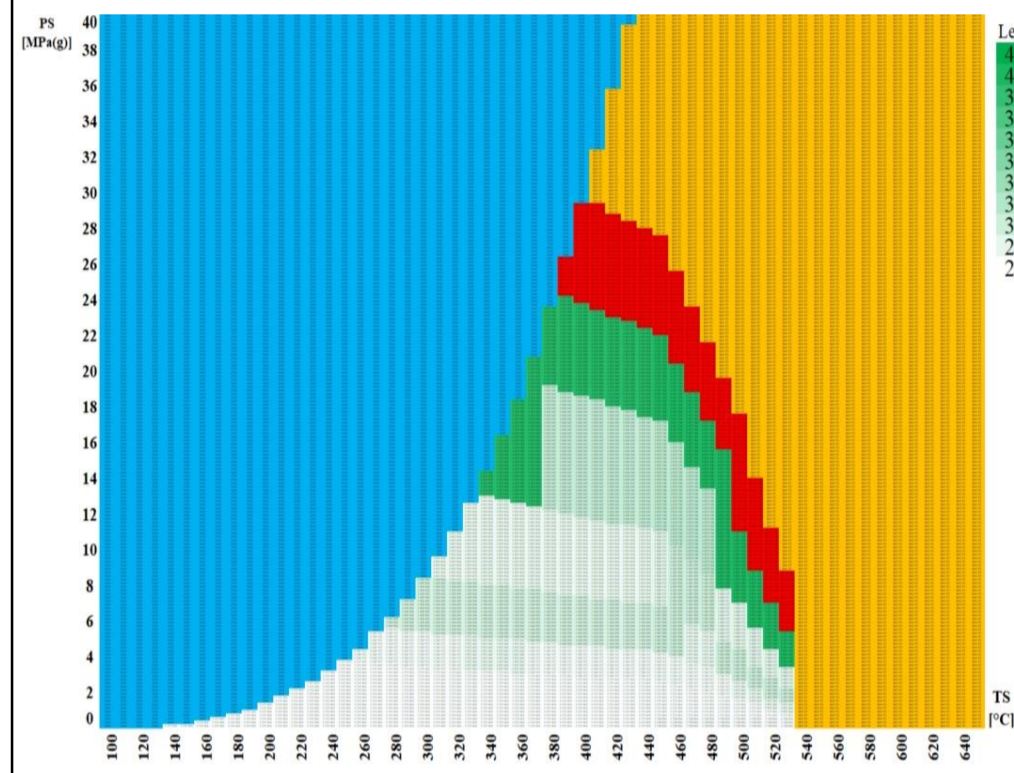
**A106-A**



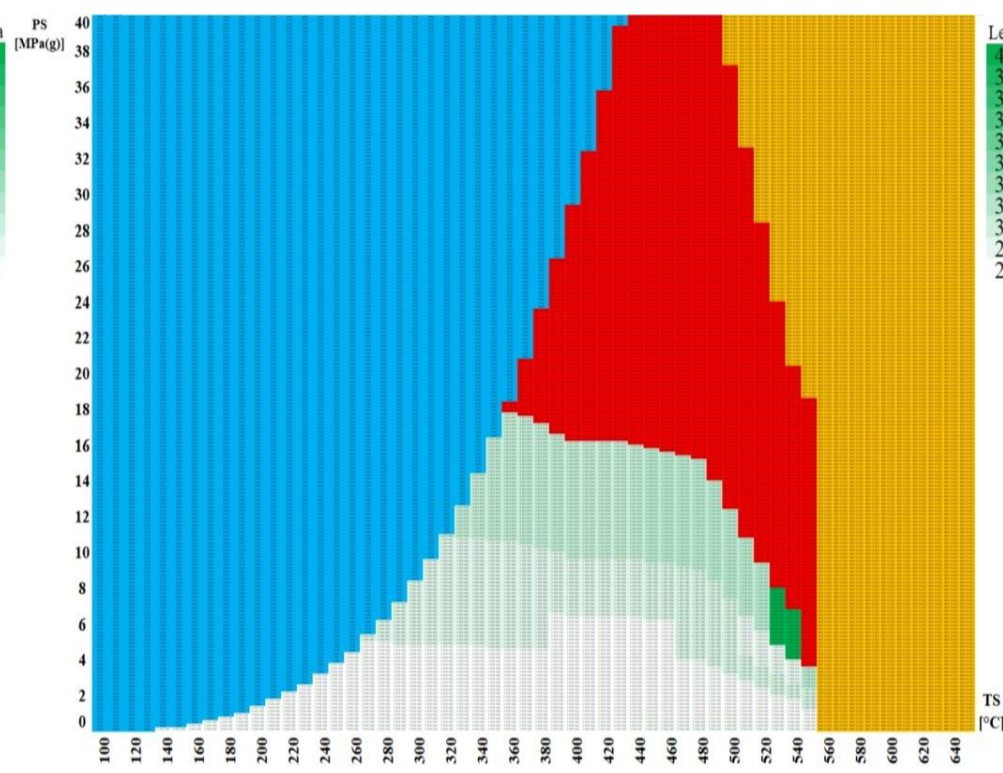
**P265GH**



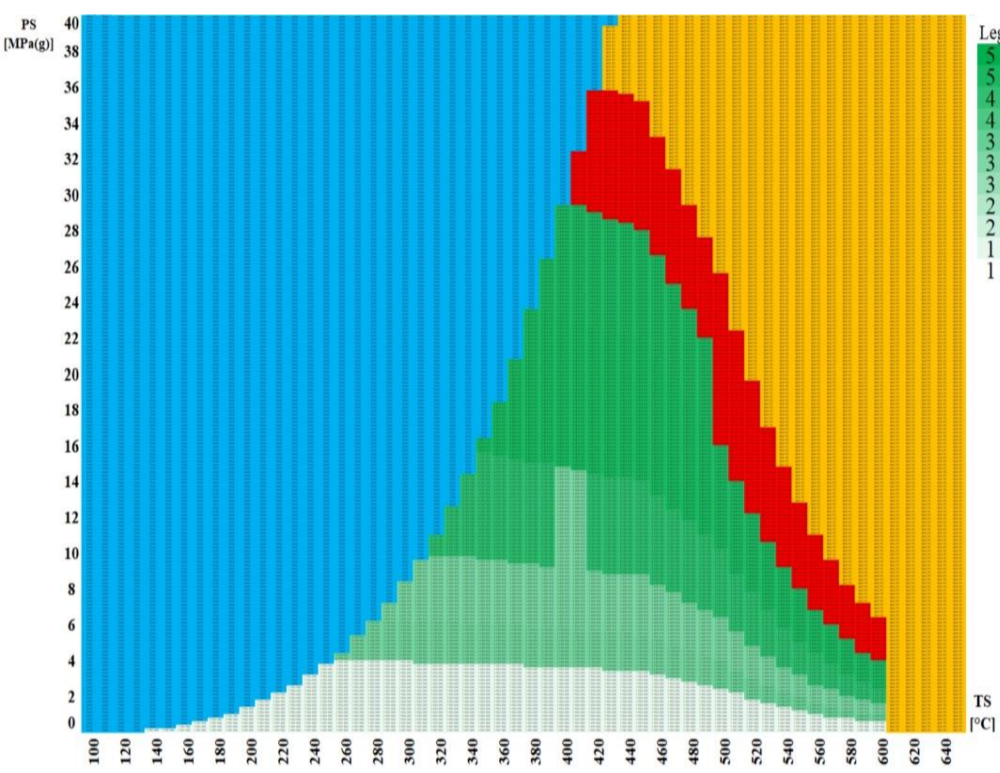
**A106-B**



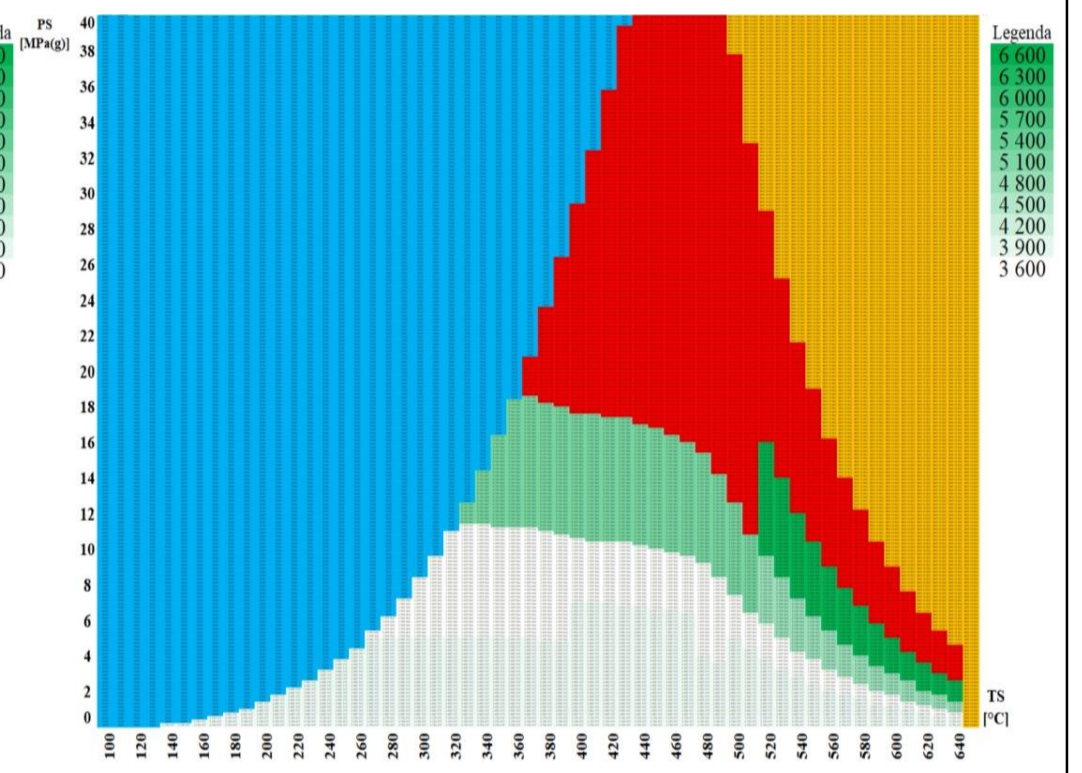
**16Mo3**



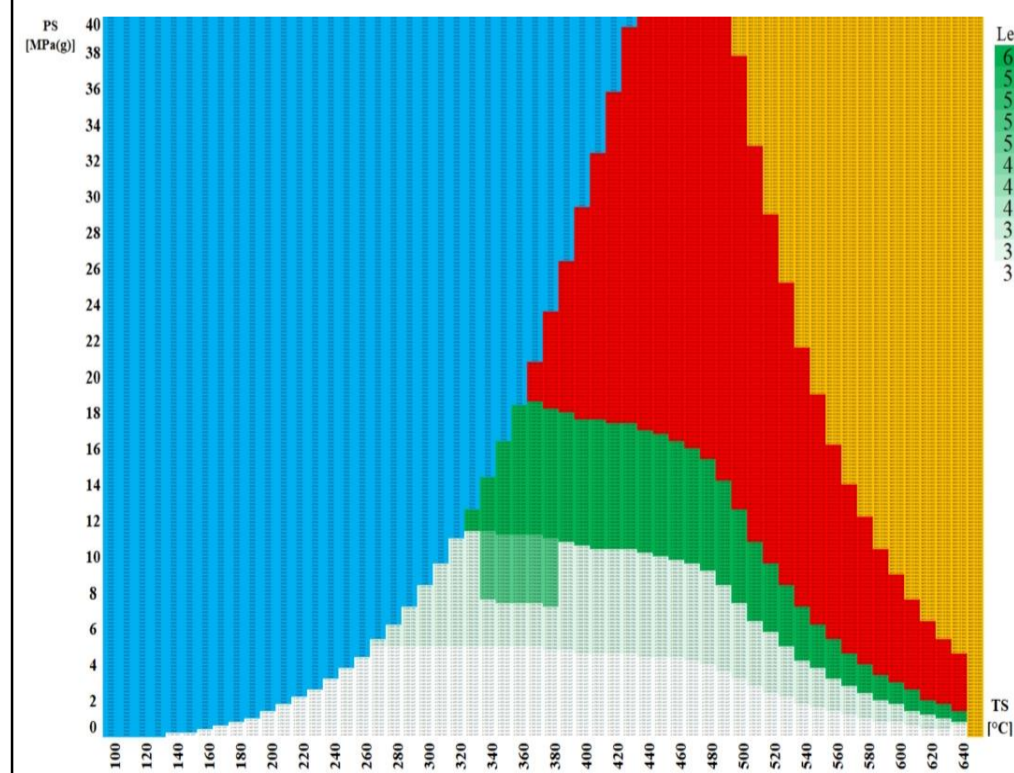
**A335-P1**



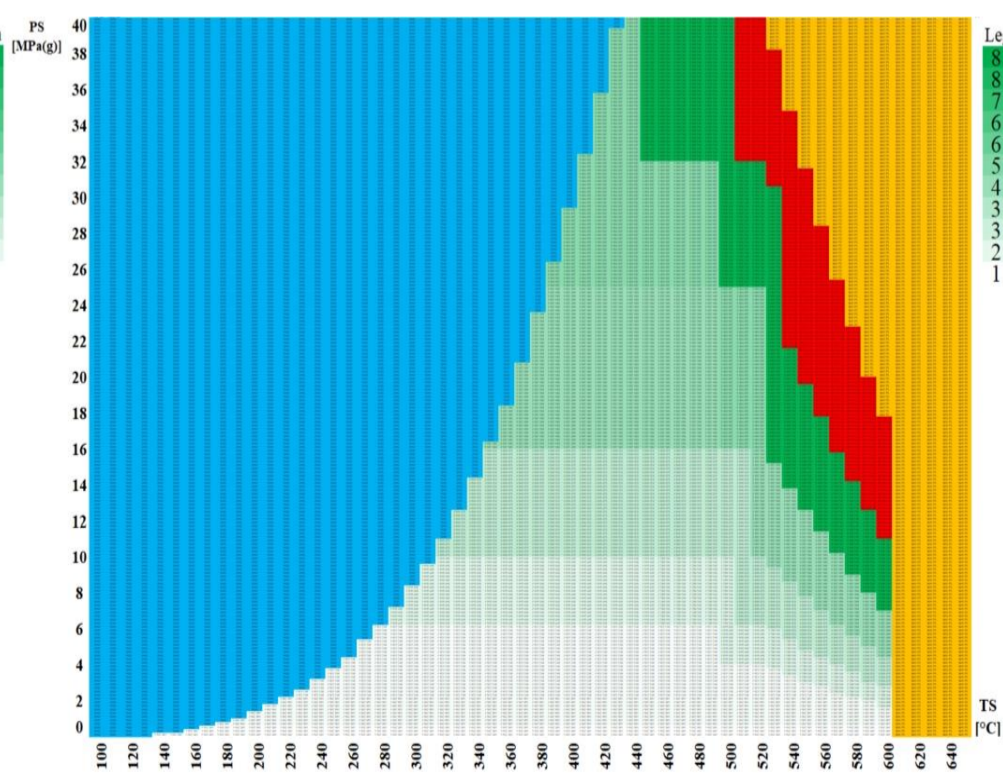
**10CrMo9-10**



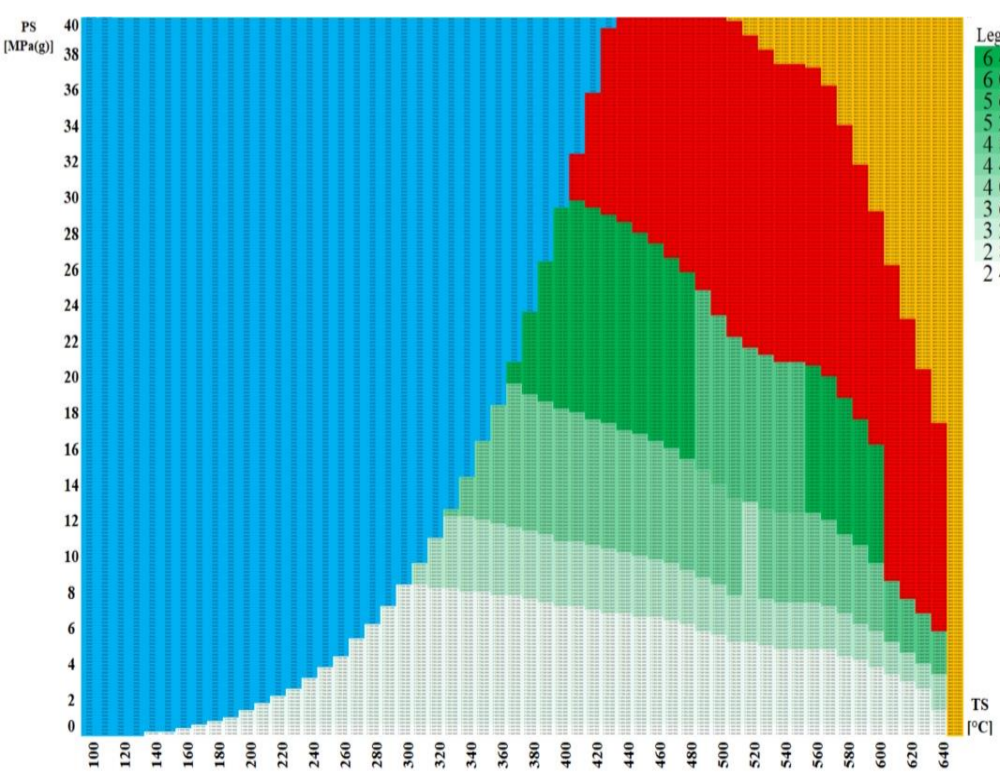
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



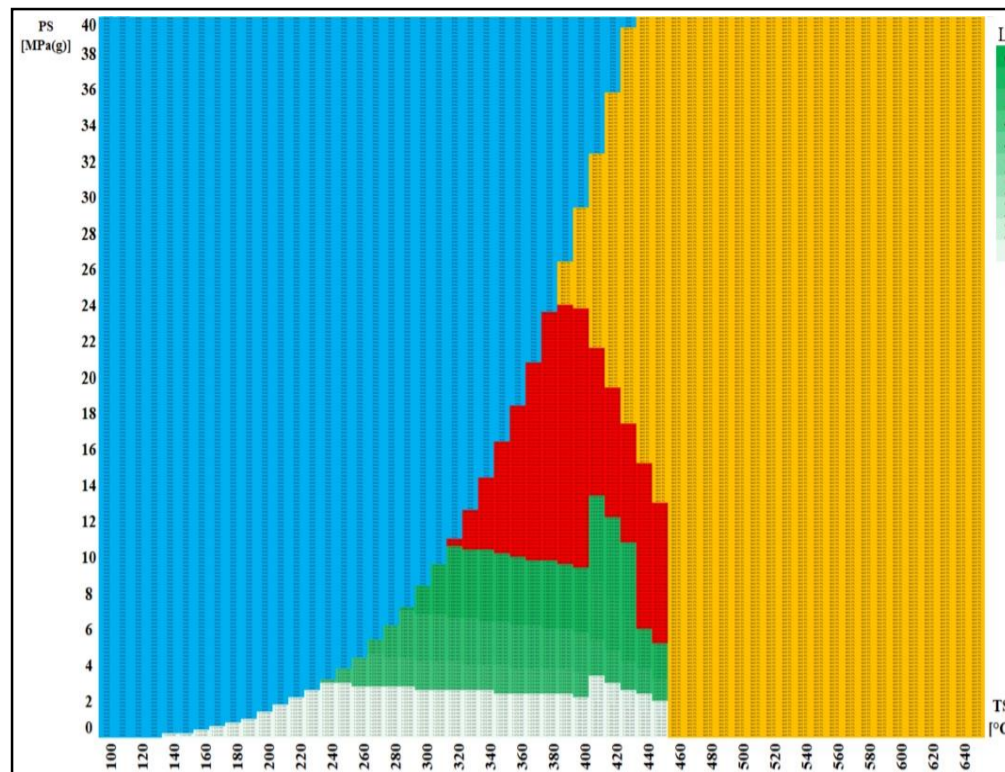
**A335 - P91**

***DN 150 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]***

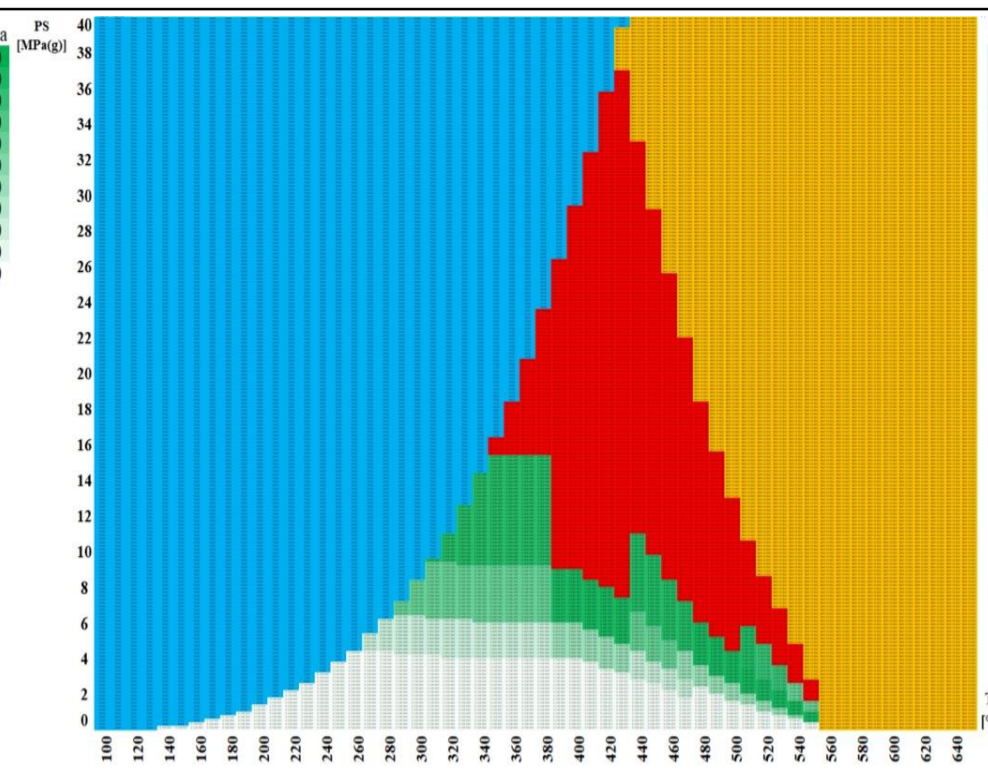
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

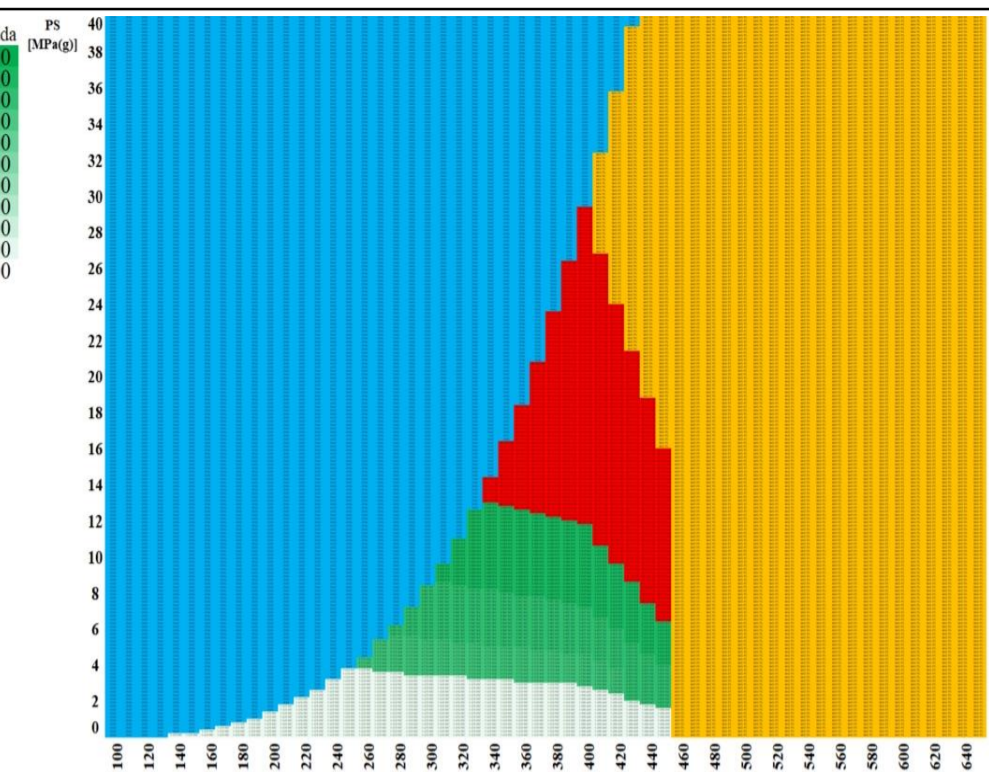
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



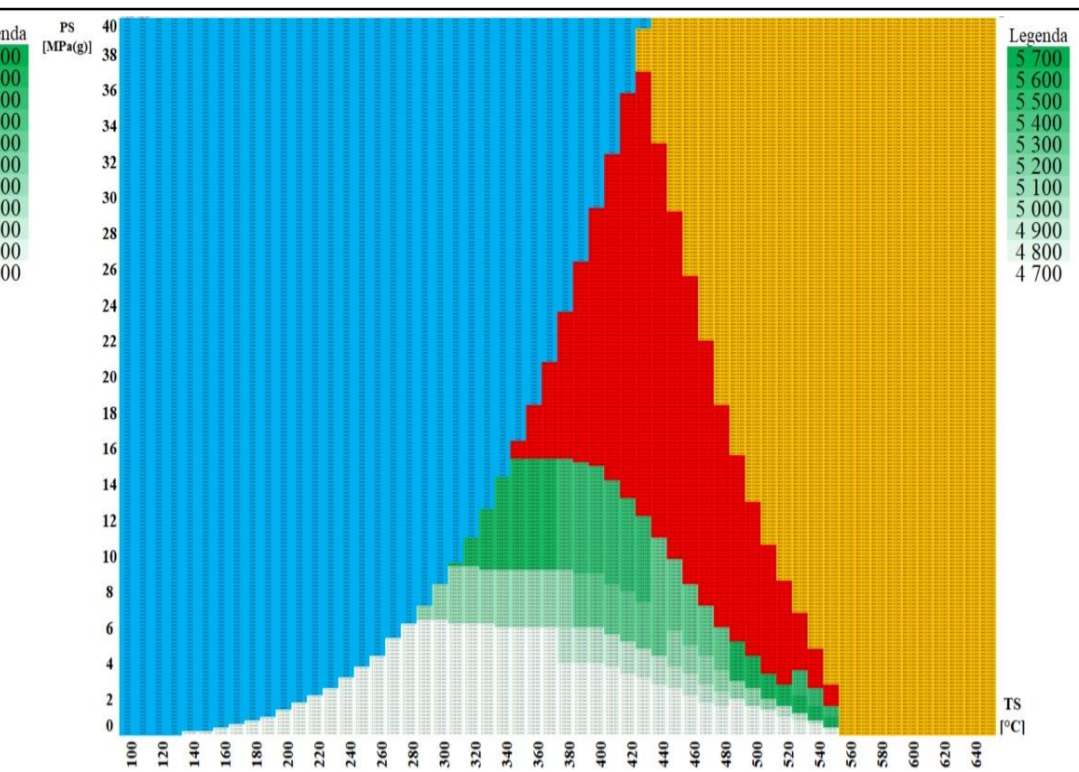
**P235GH**



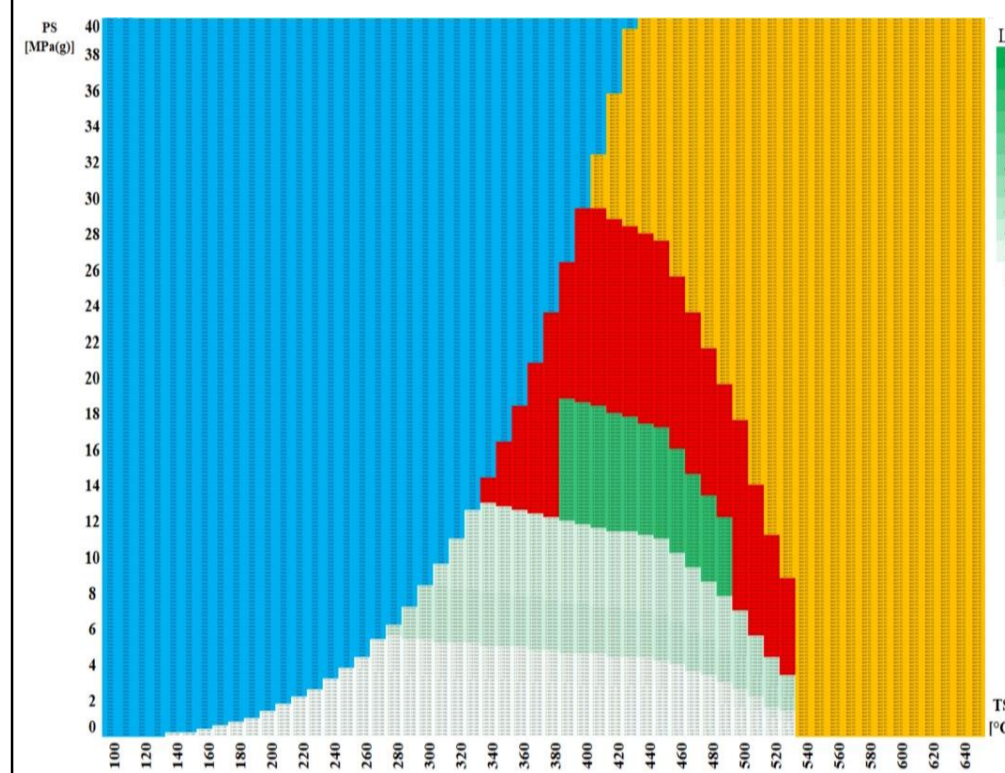
**A106-A**



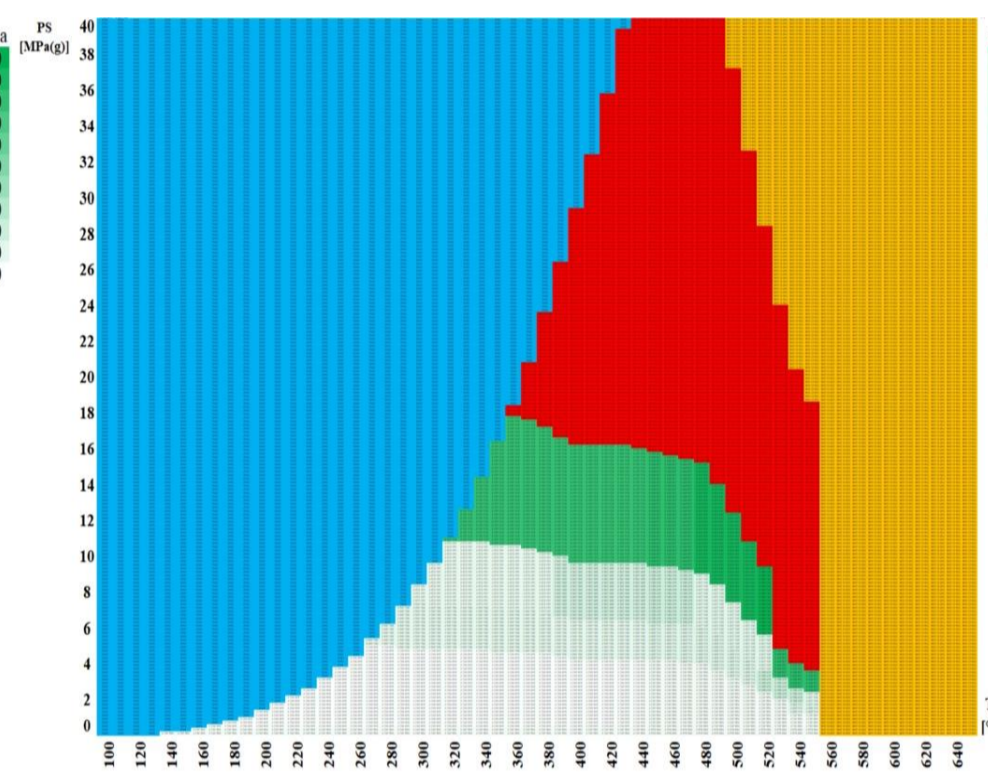
**P265GH**



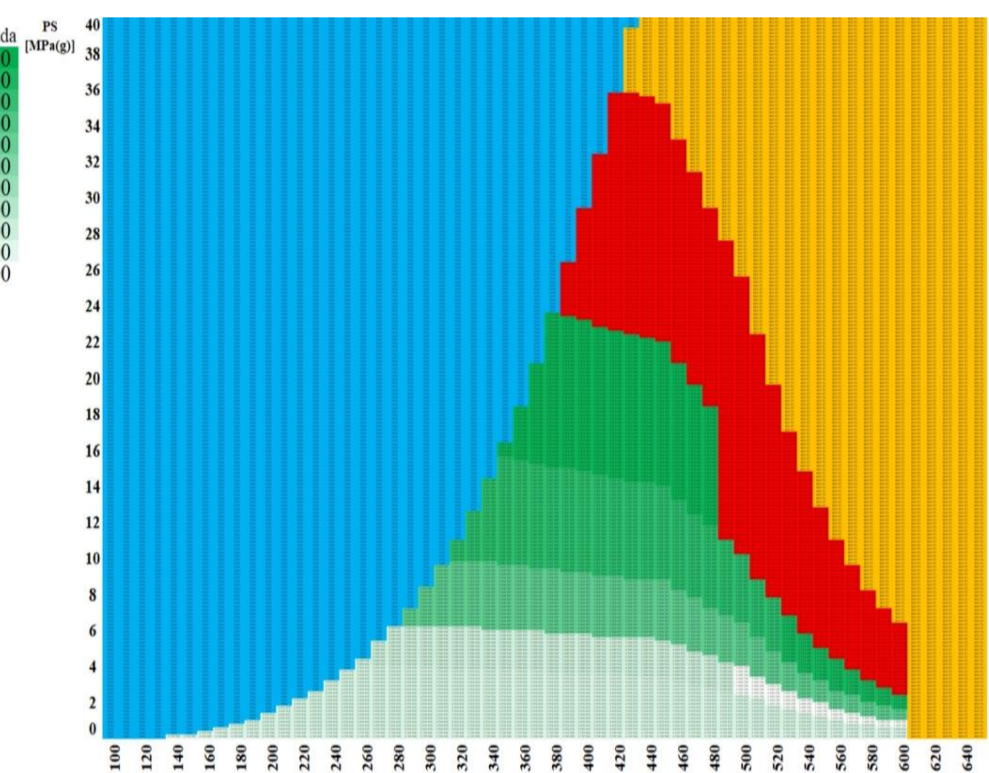
**A106-B**



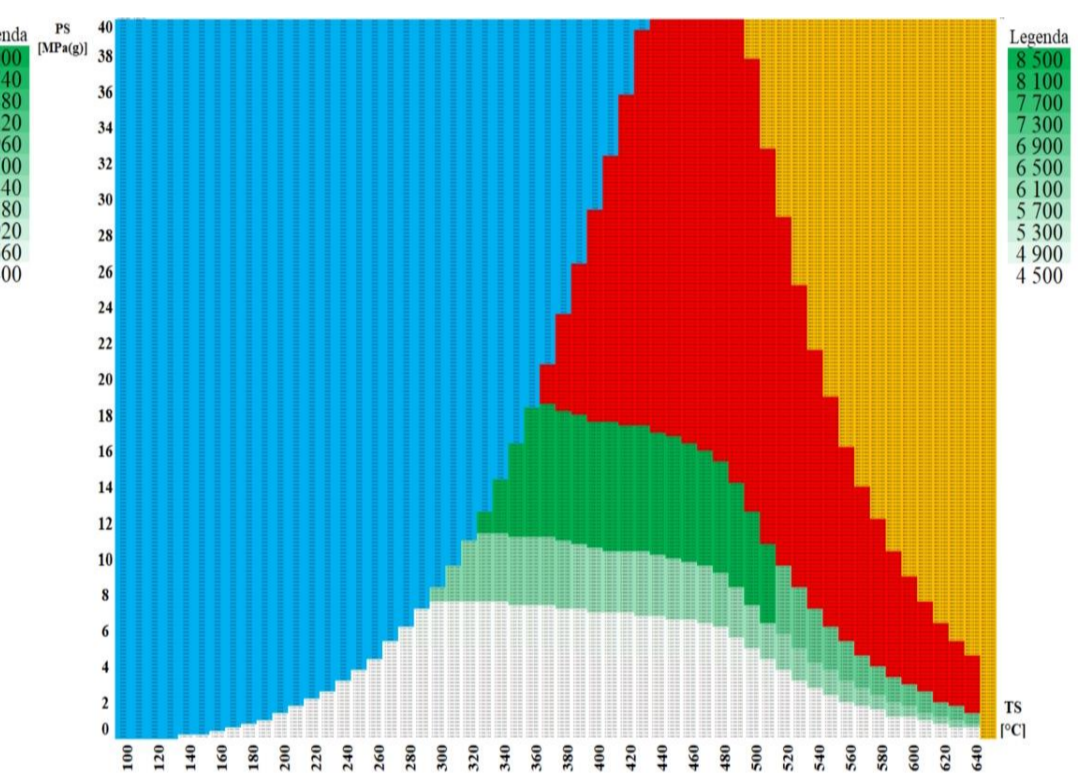
**16Mo3**



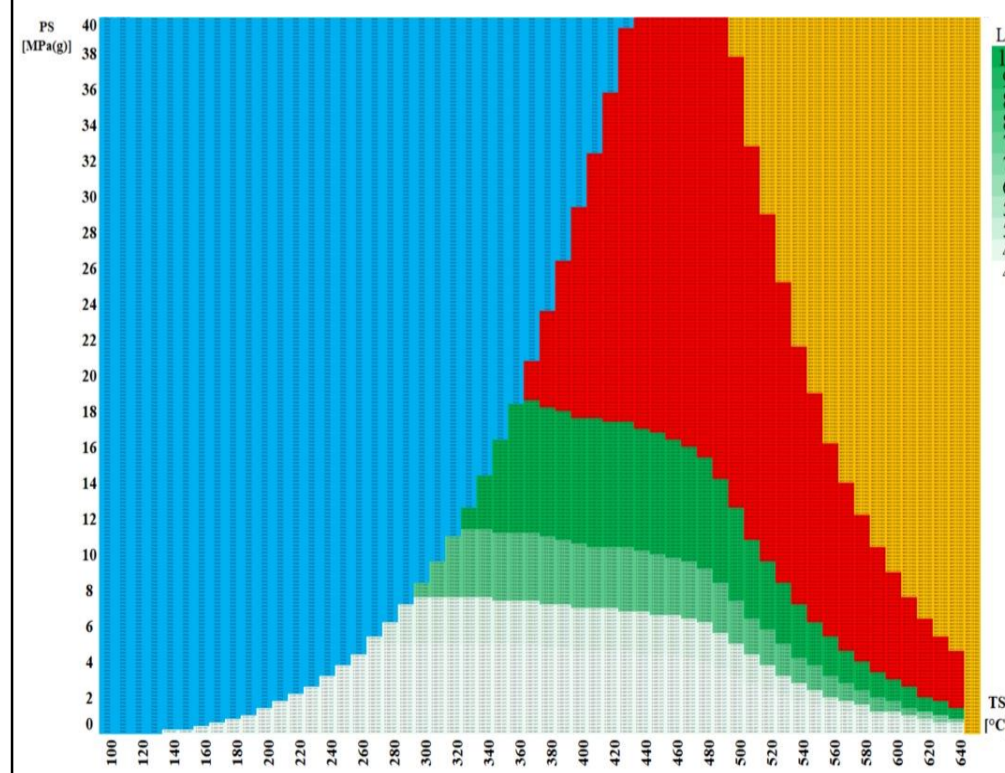
**A335-P1**



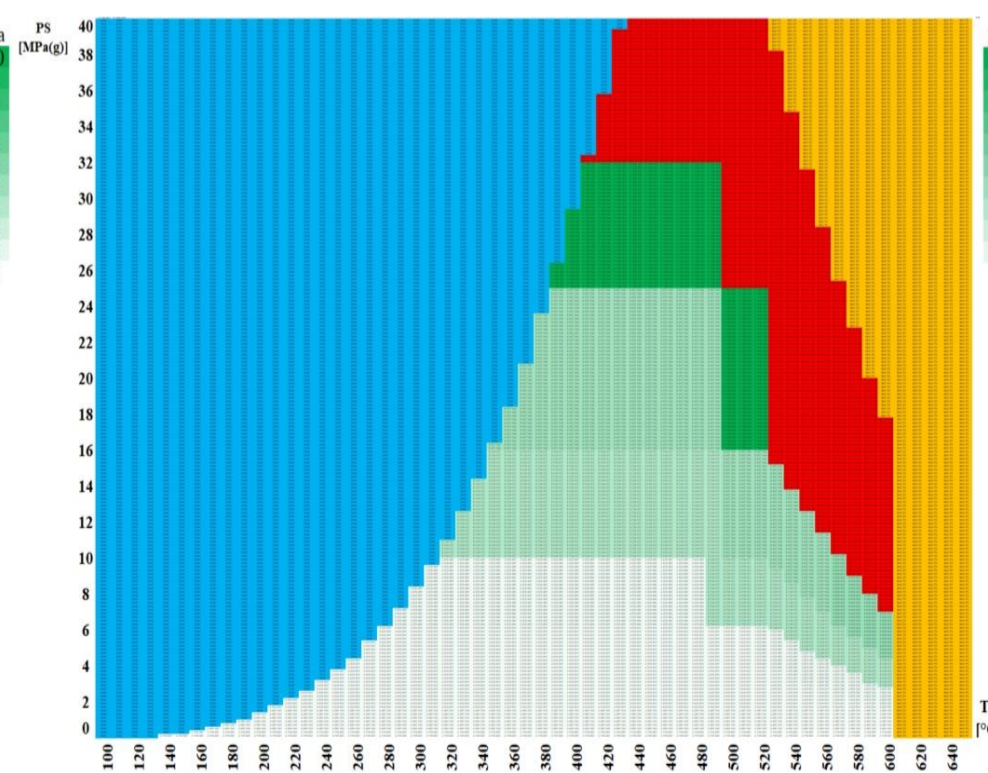
**10CrMo9-10**



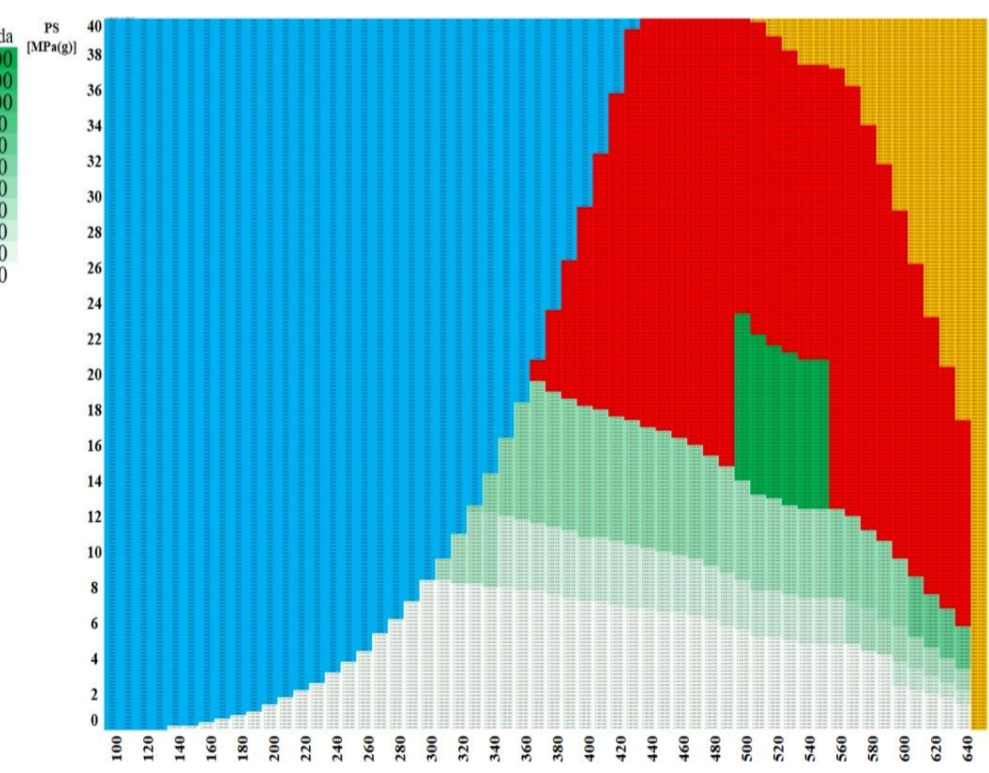
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



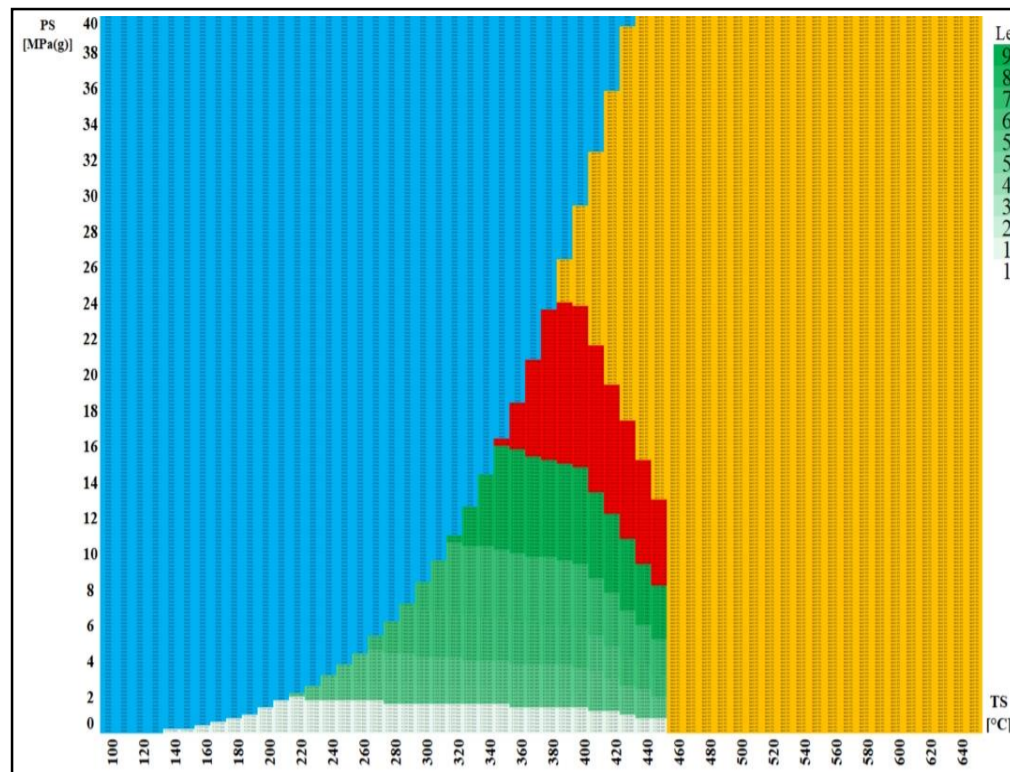
**A335 – P91**

***DN 200 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]***

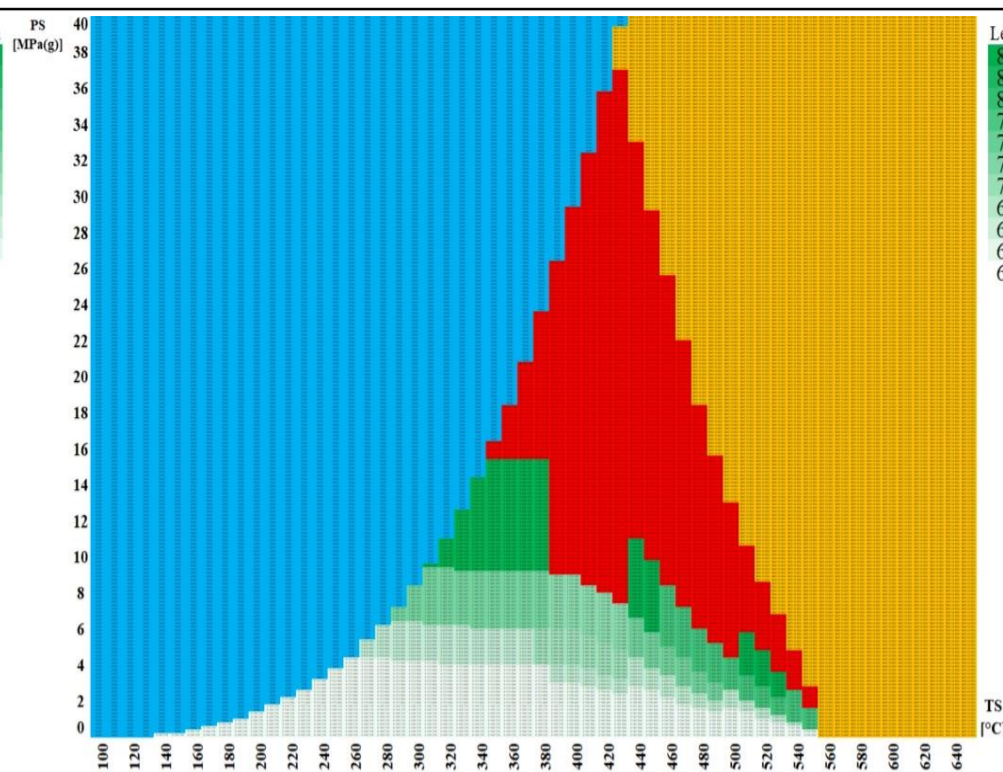
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

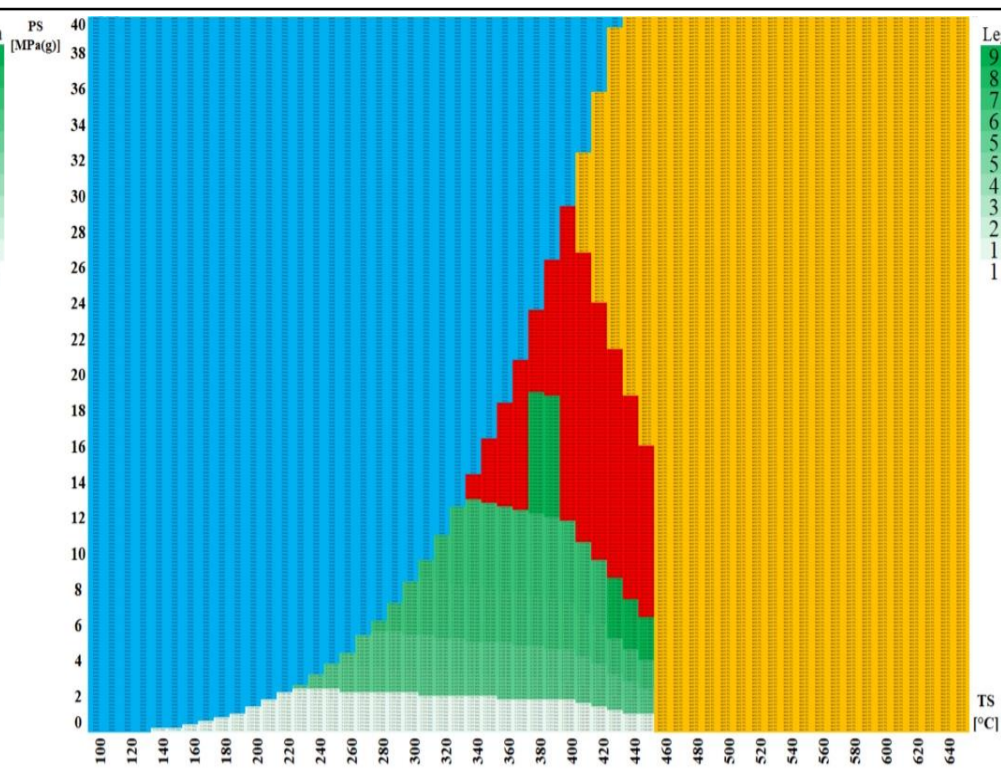
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



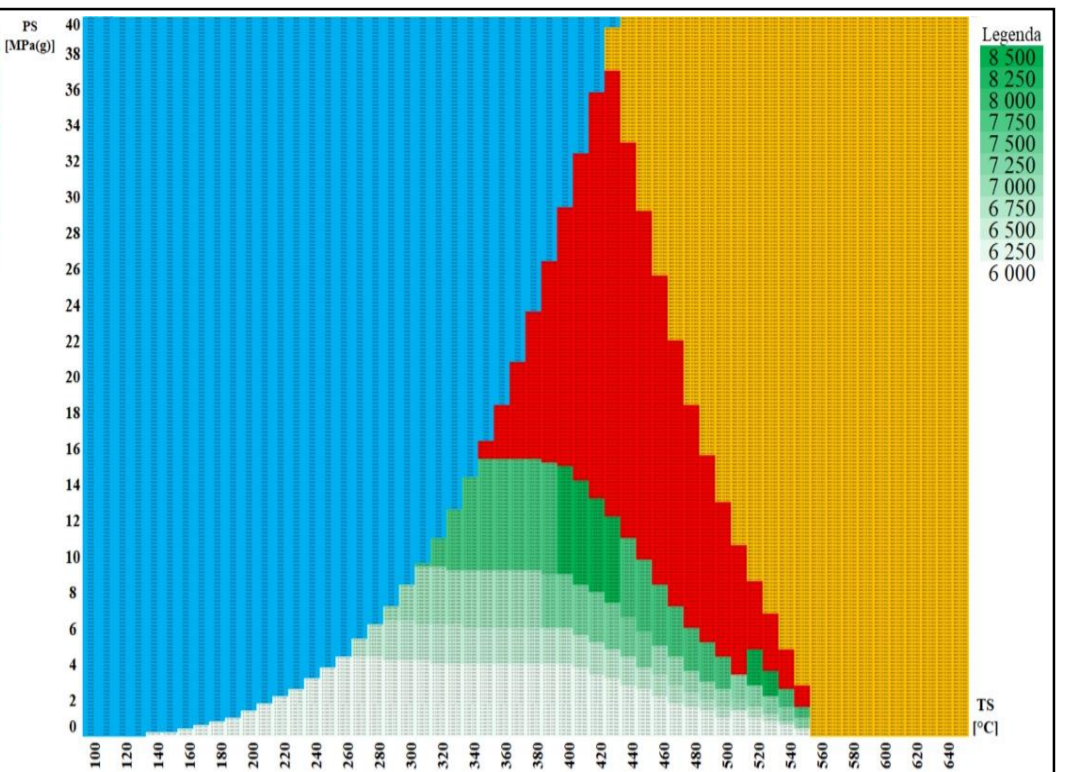
**P235GH**



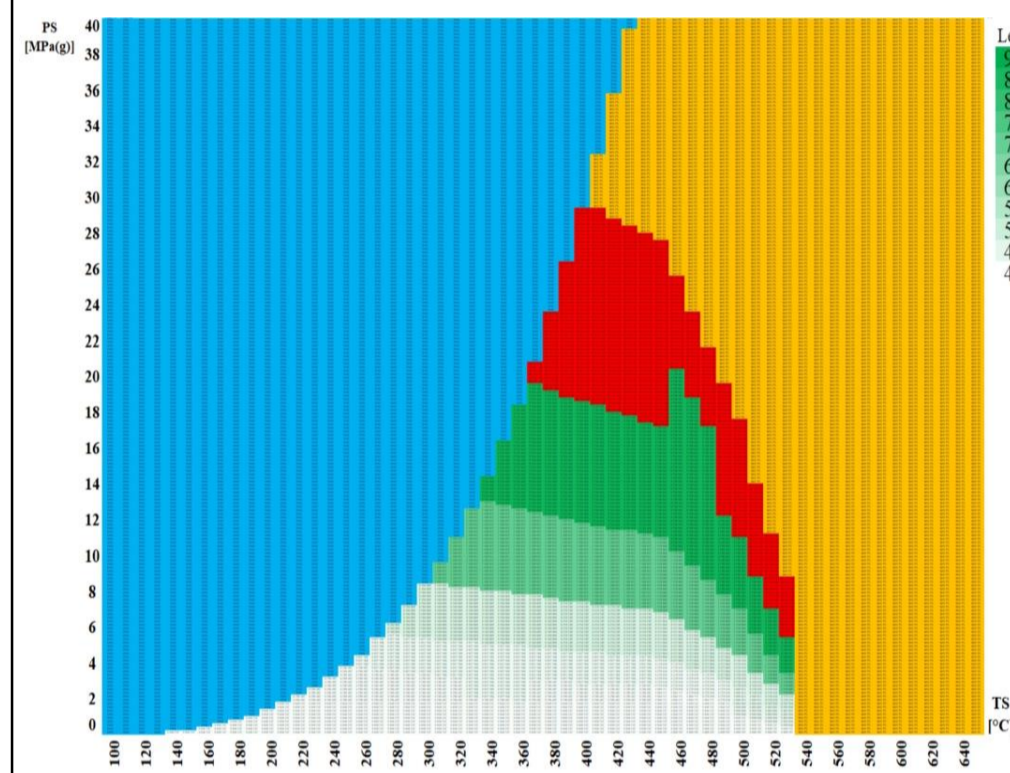
**A106-A**



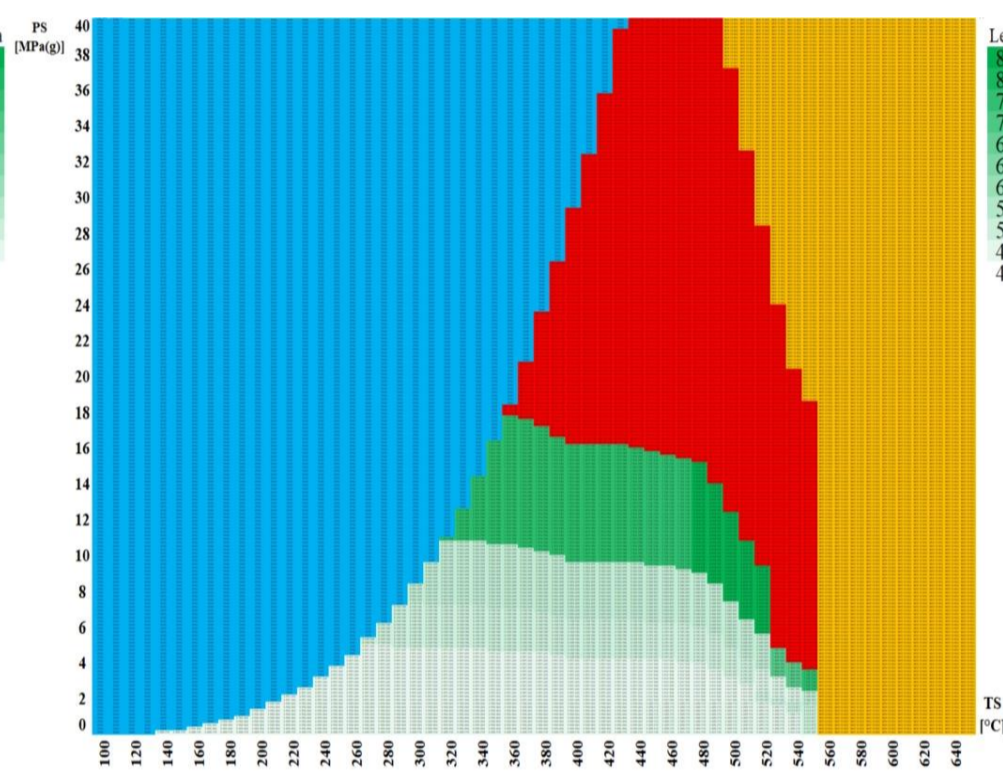
**P265GH**



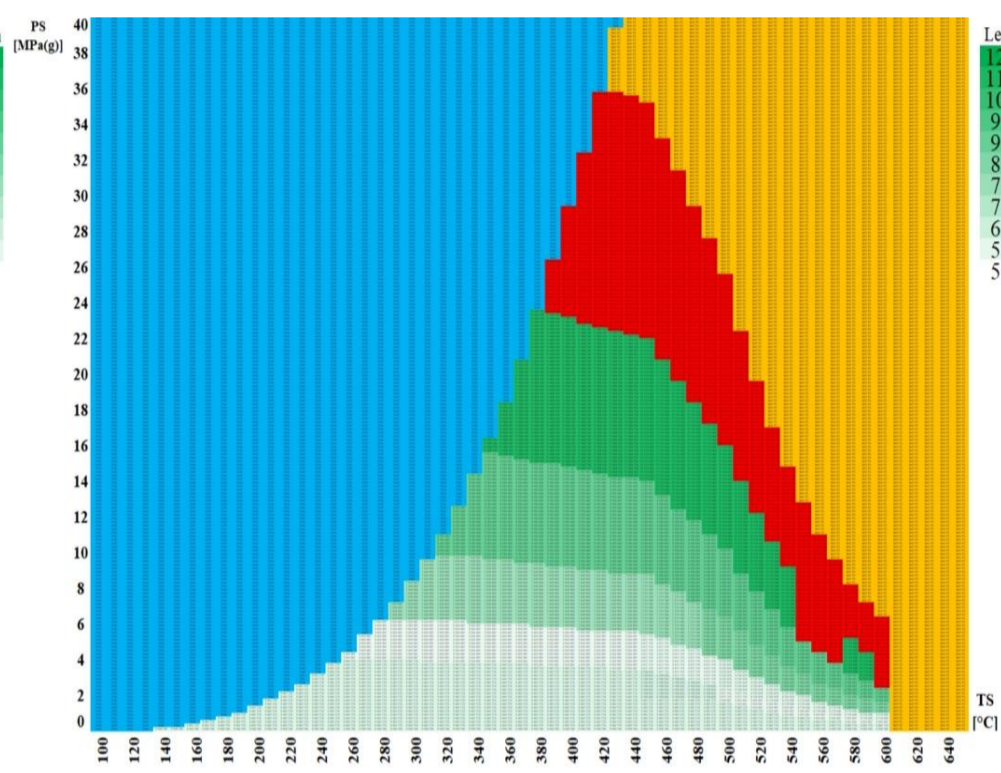
**A106-B**



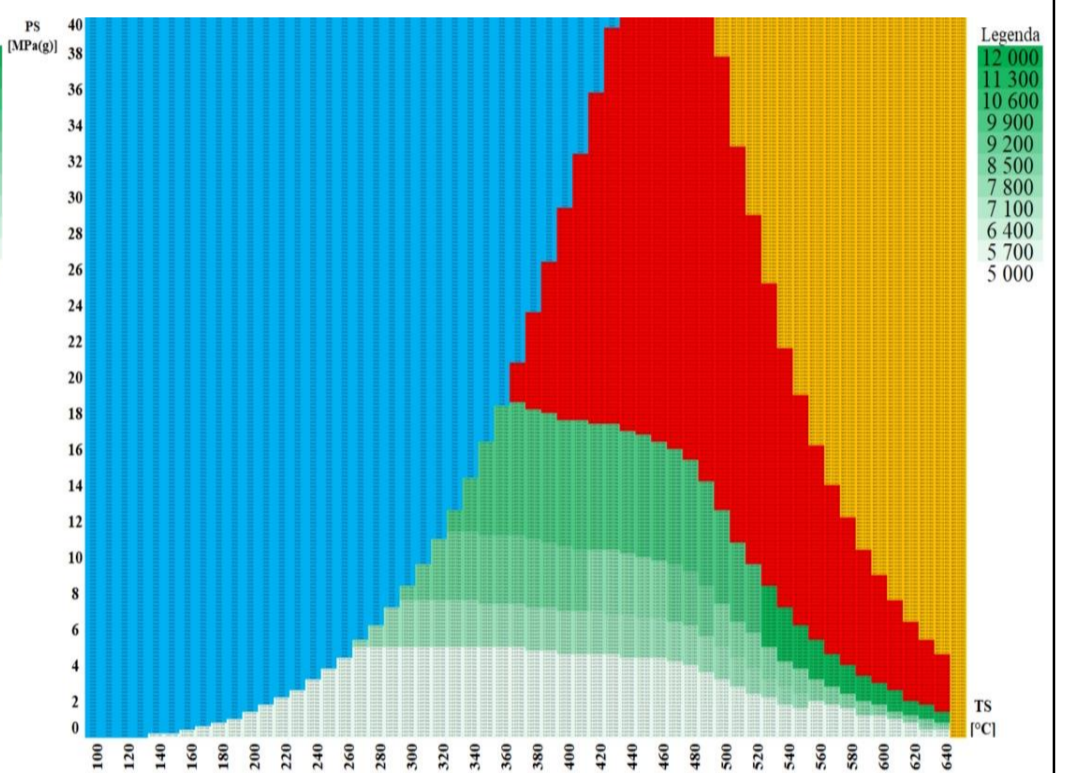
**16Mo3**



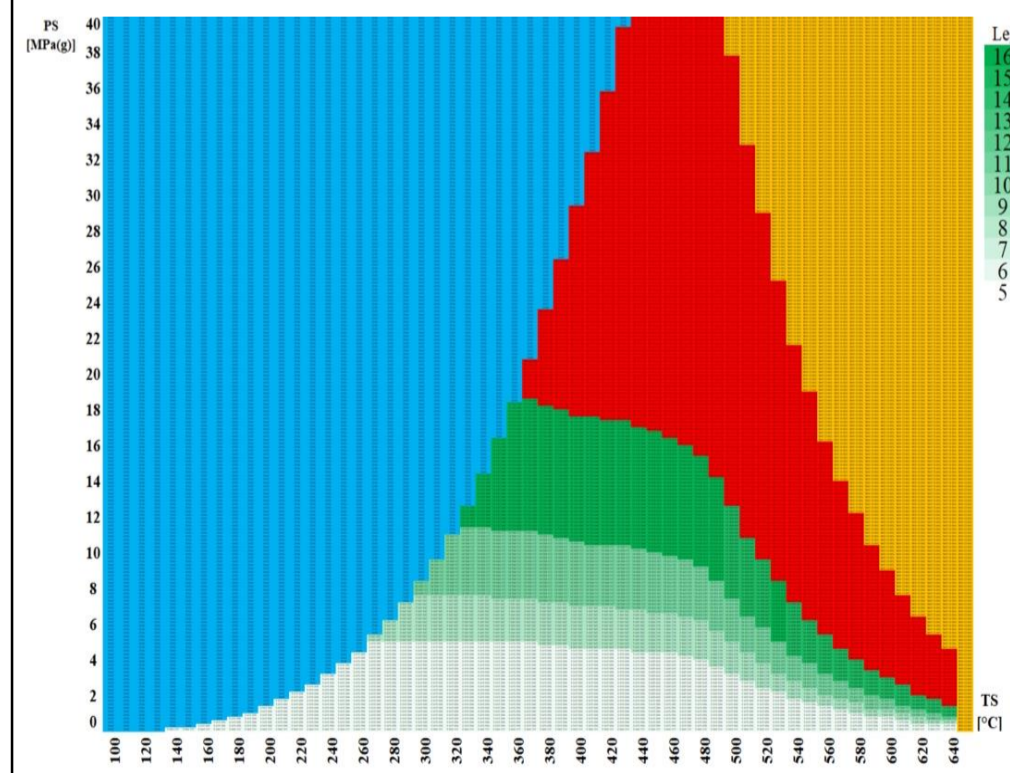
**A335-P1**



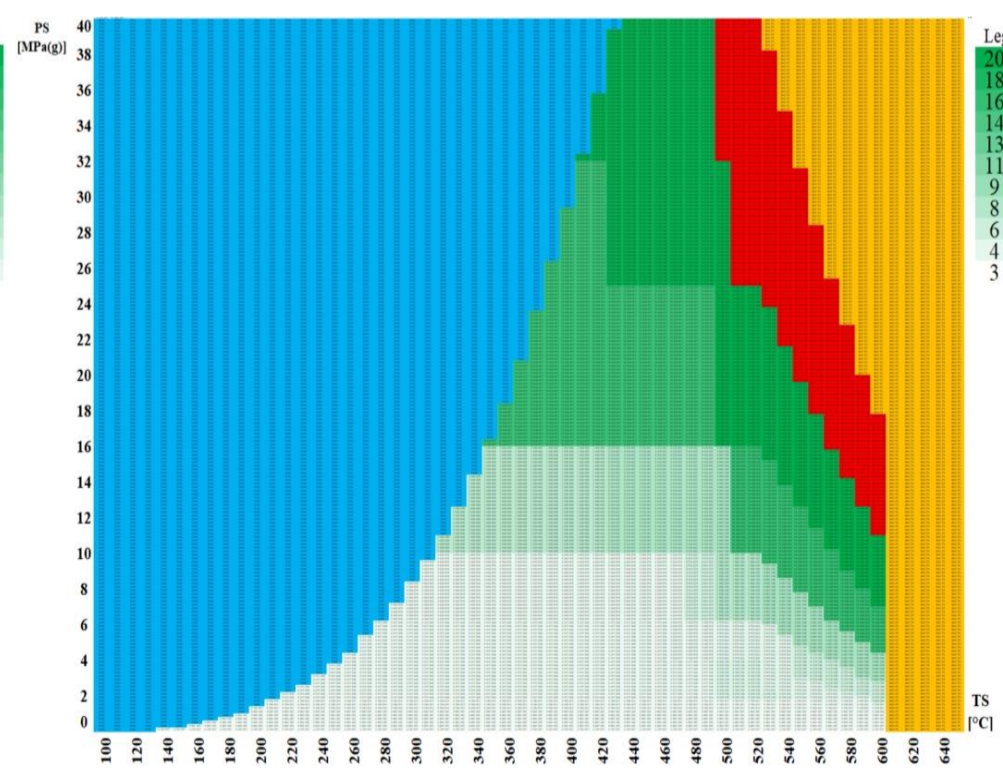
**10CrMo9-10**



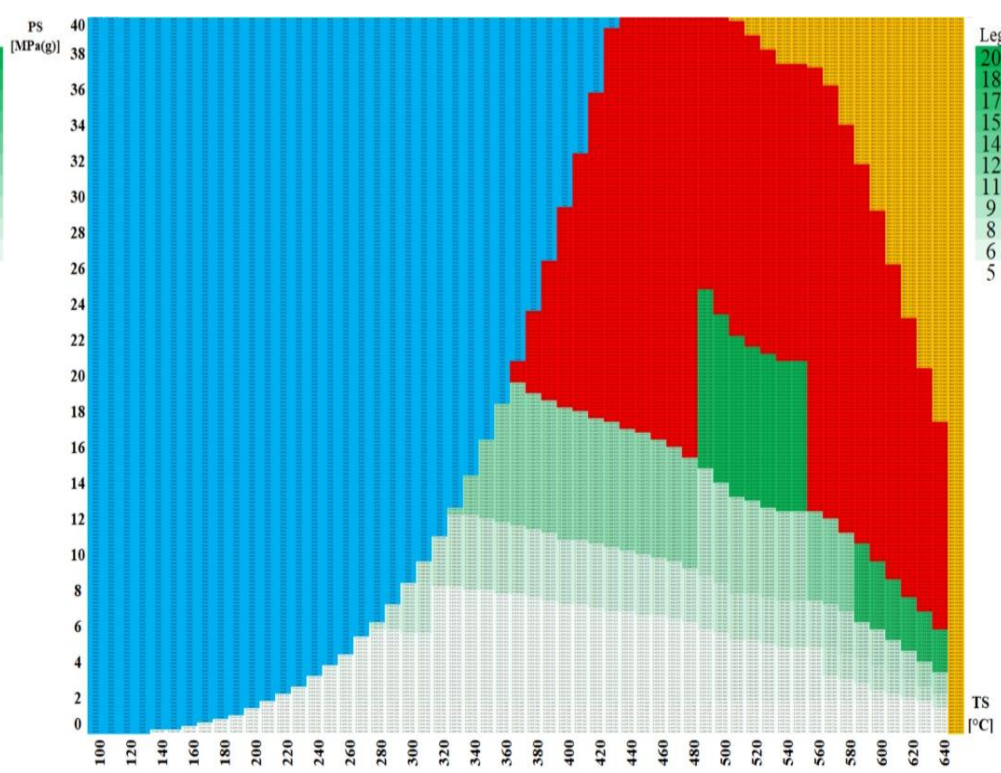
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 - P91**

***DN 250 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v ČR  
[tis. PJ]***

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

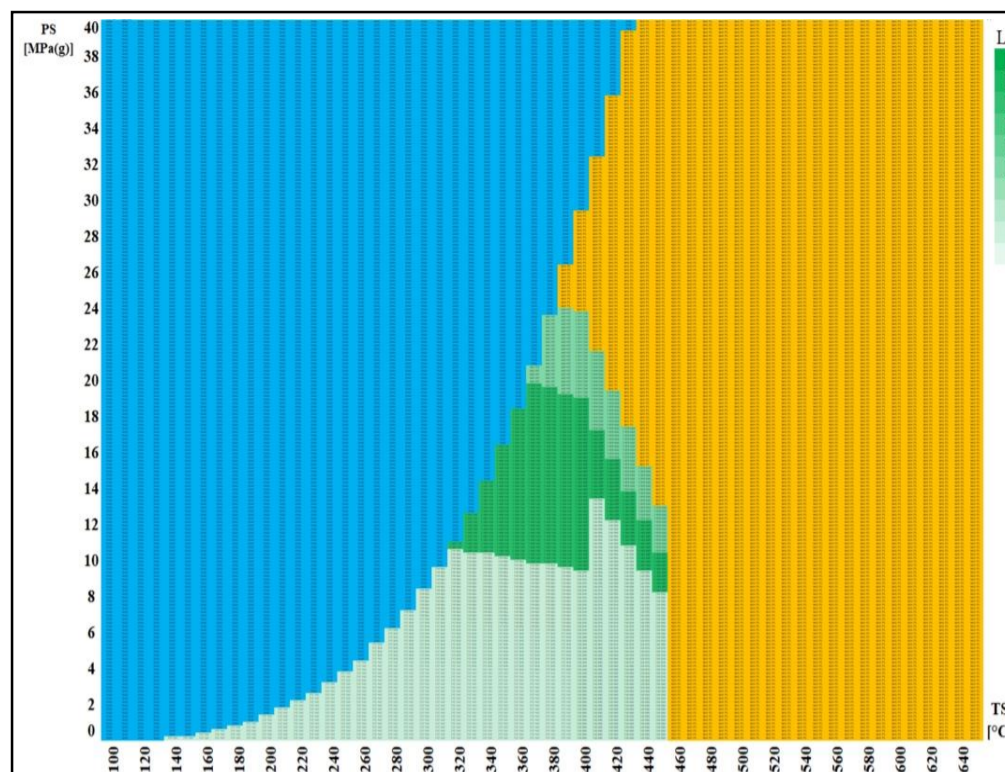
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

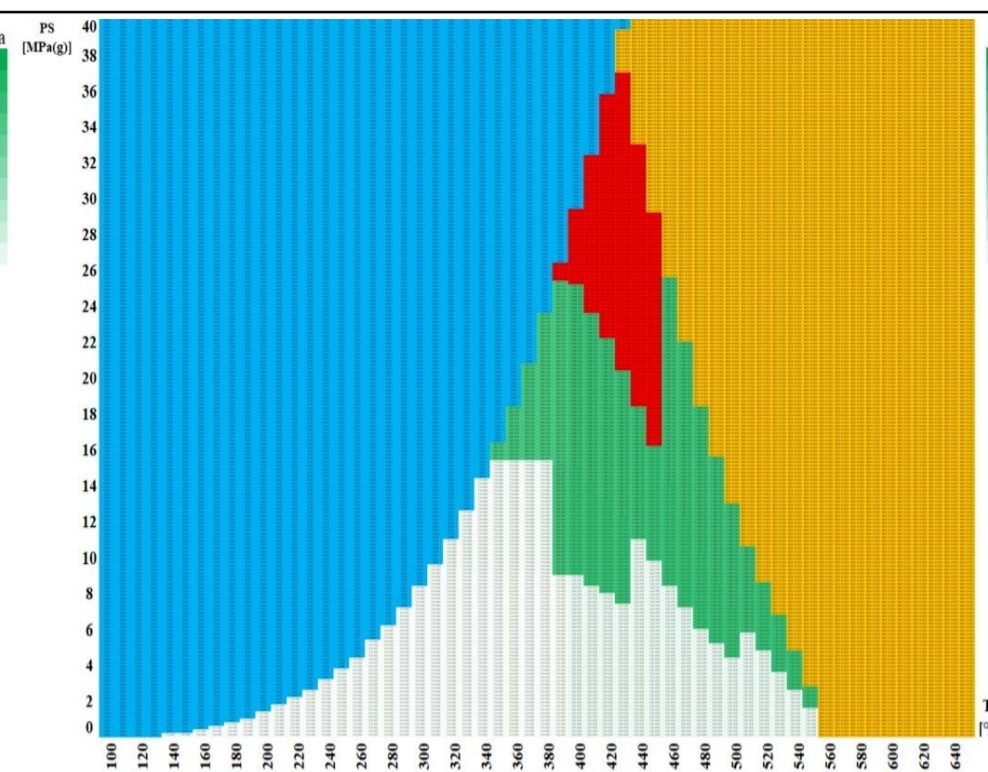
## **Příloha 2.5**

-

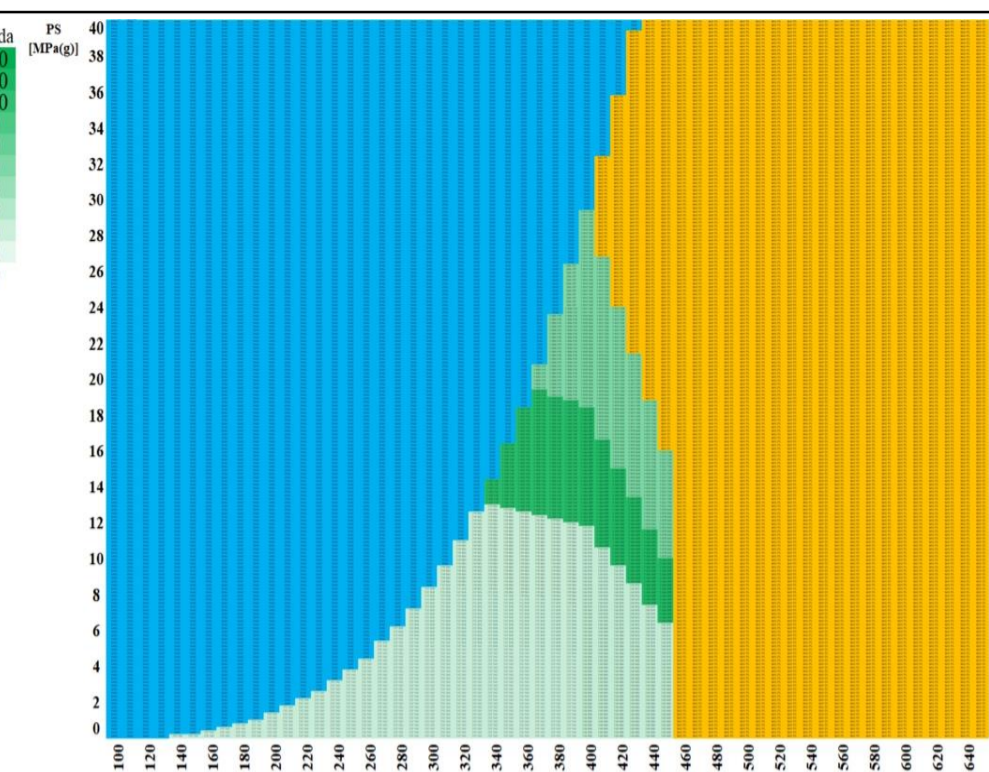
**Cena za provedení 20 obvodových svarů provedených v  
západní Evropě podle parametrů páry**



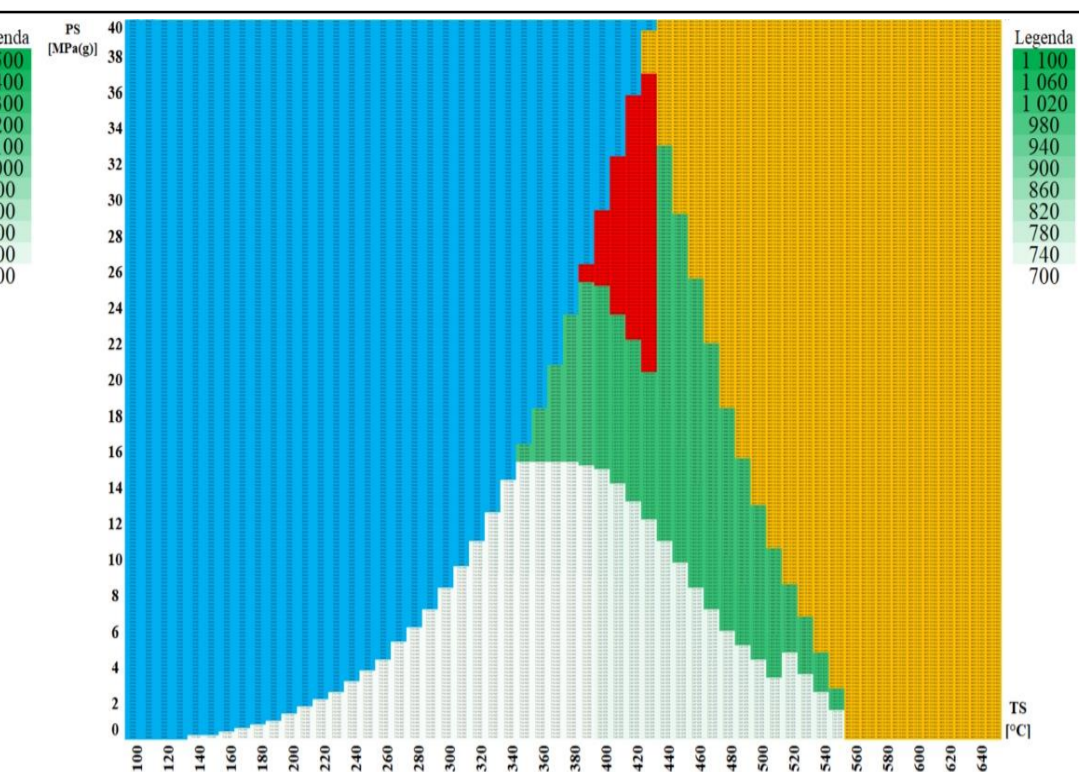
**P235GH**



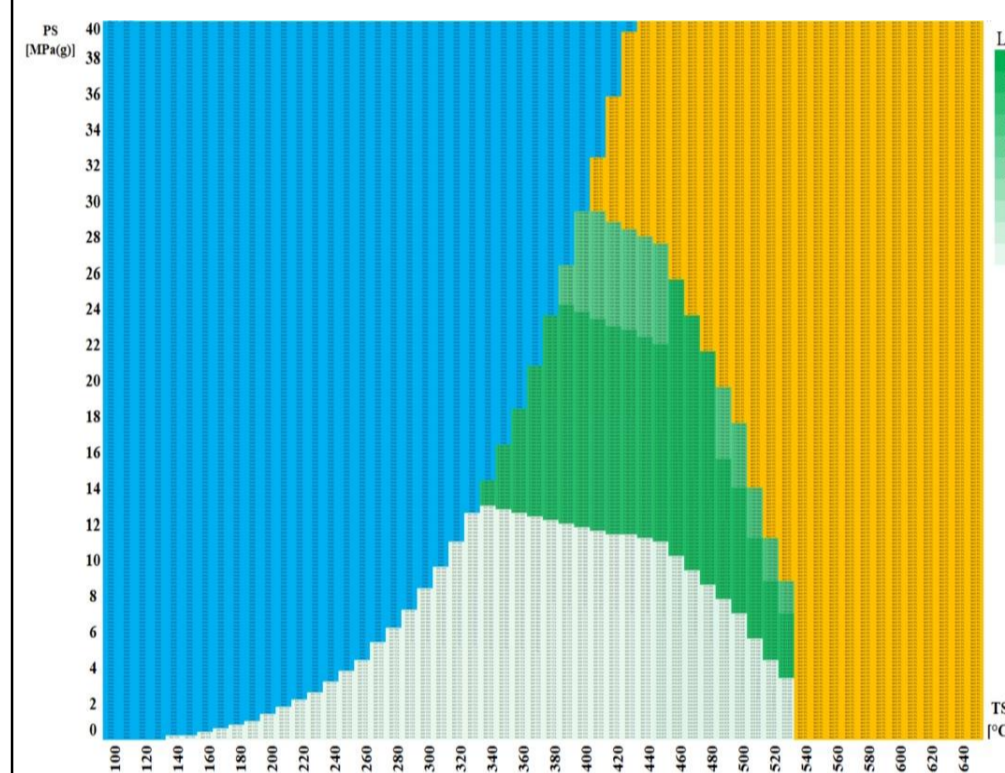
**A106-A**



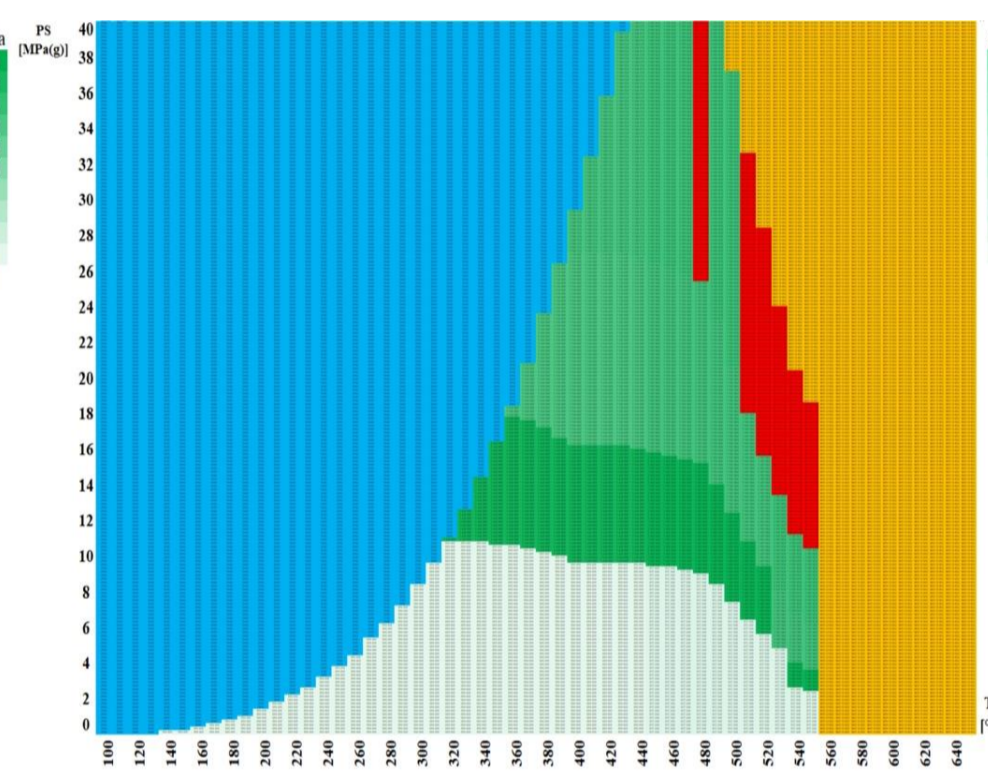
**P265GH**



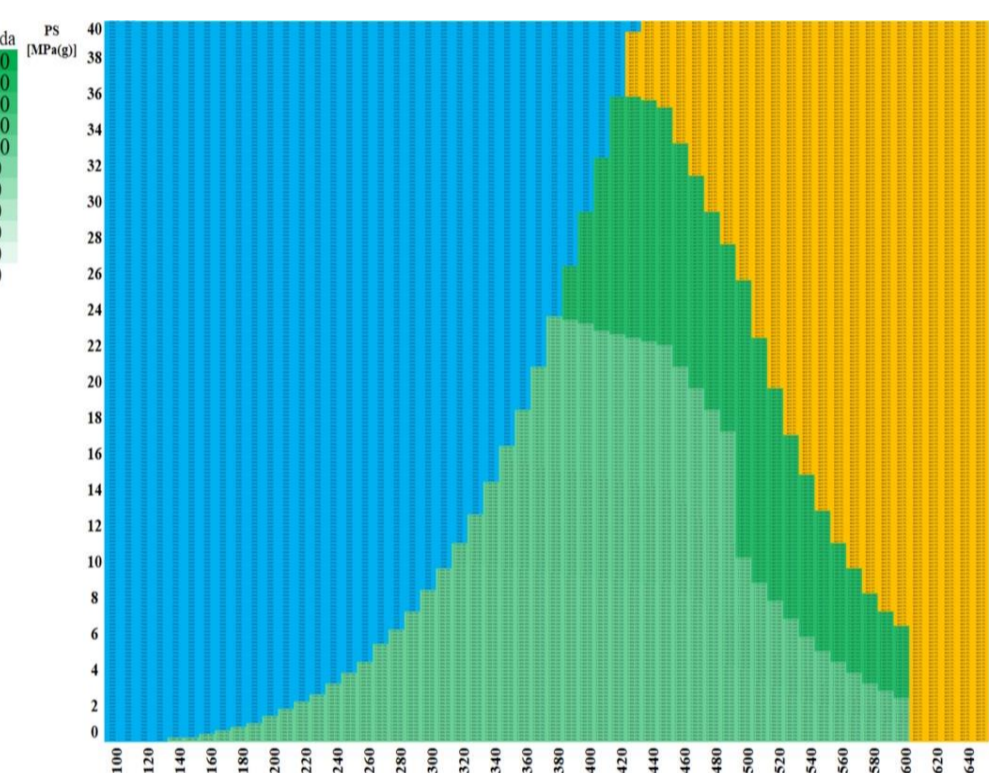
**A106-B**



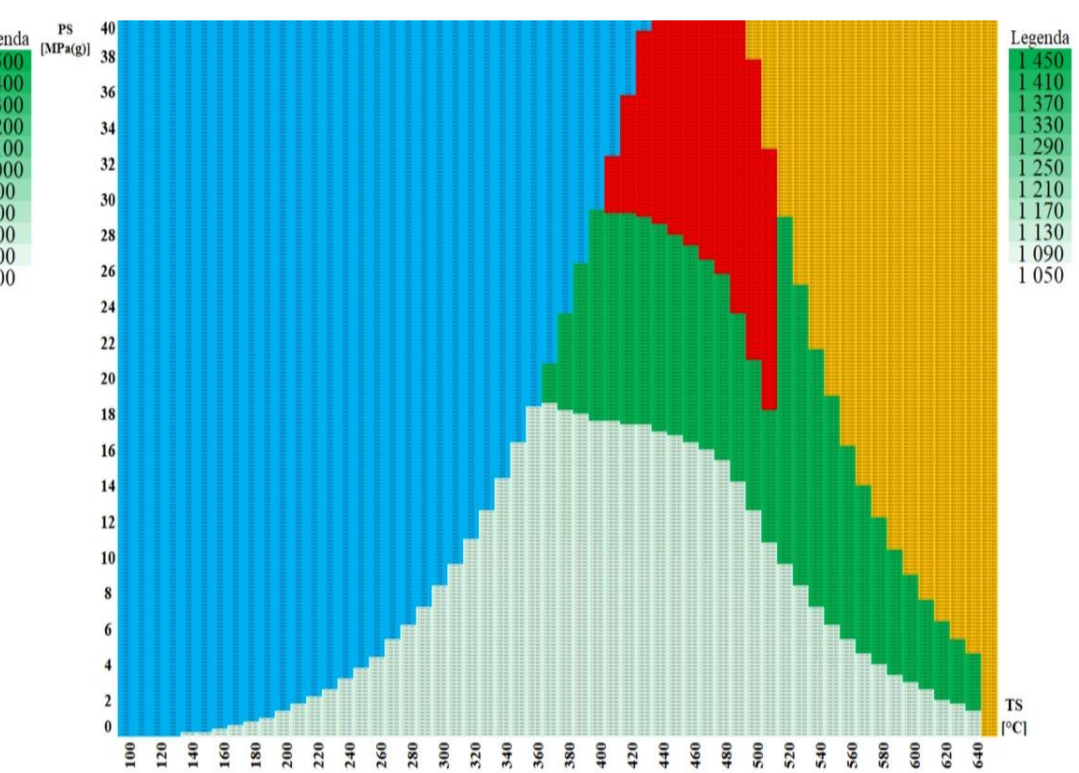
**16Mo3**



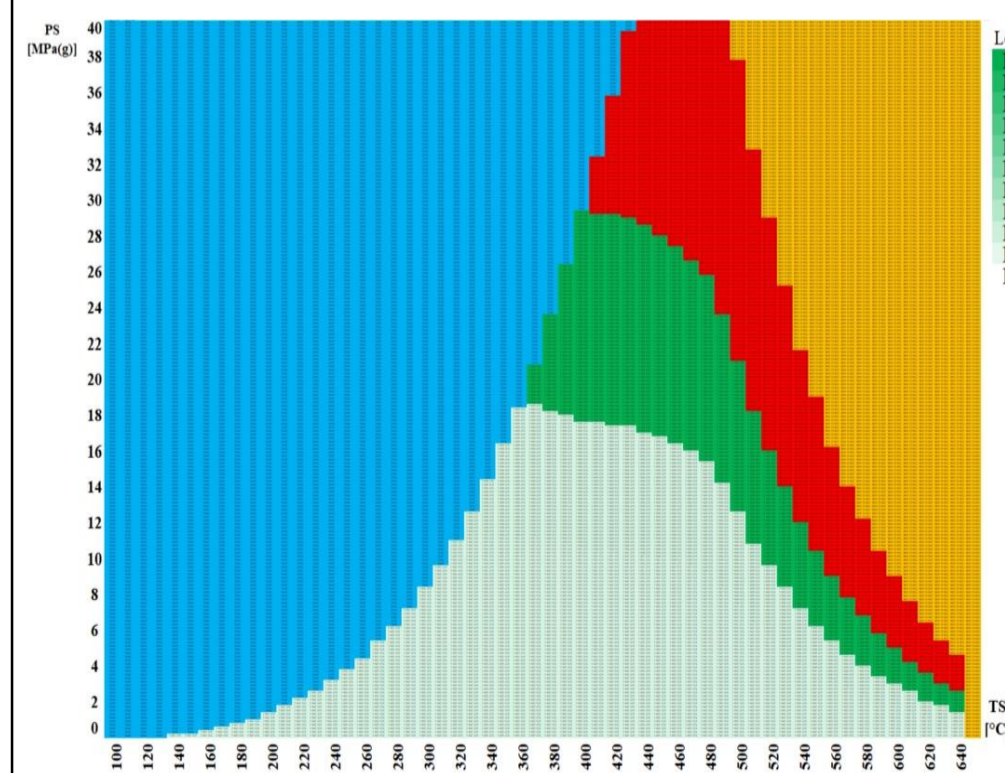
**A335-P1**



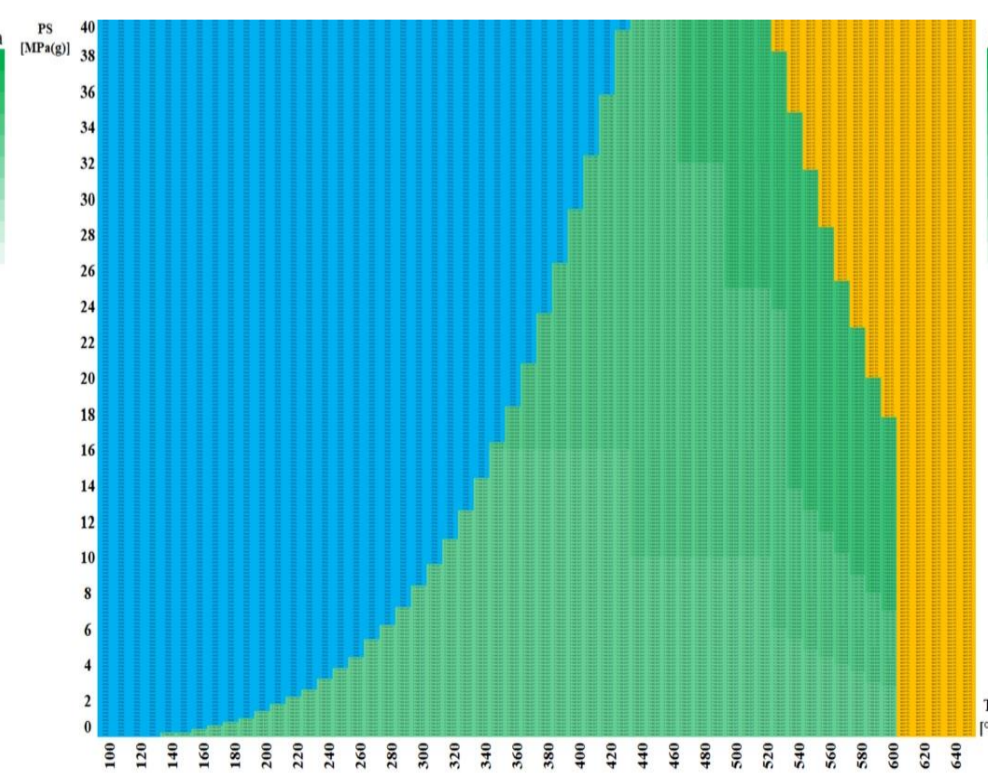
**10CrMo9-10**



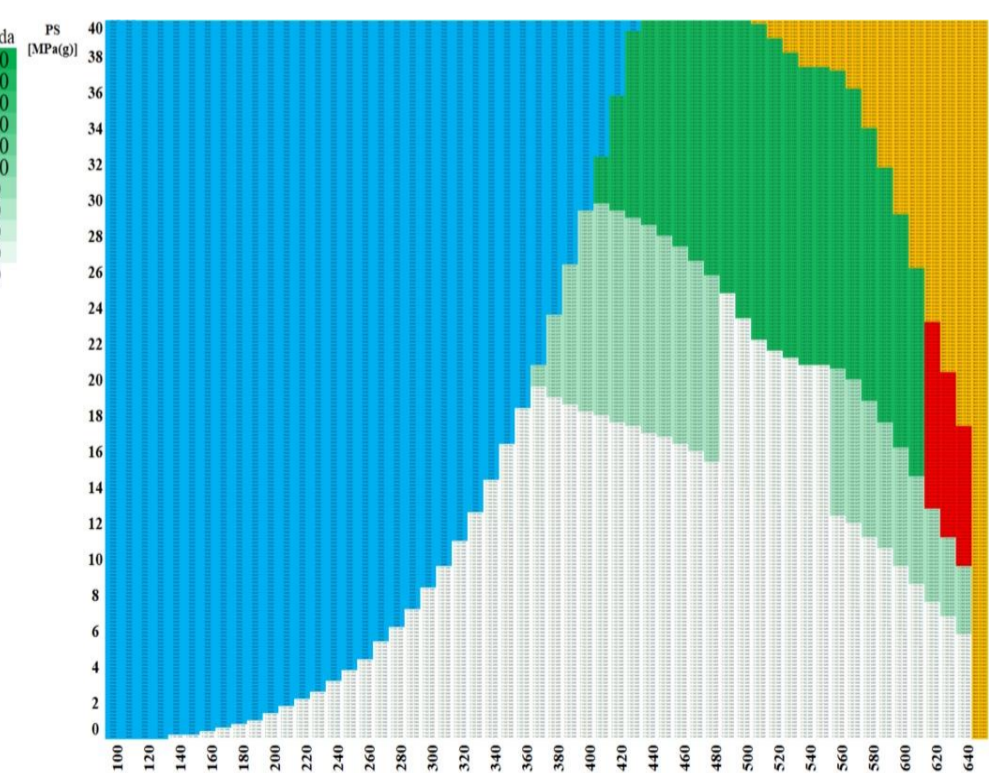
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



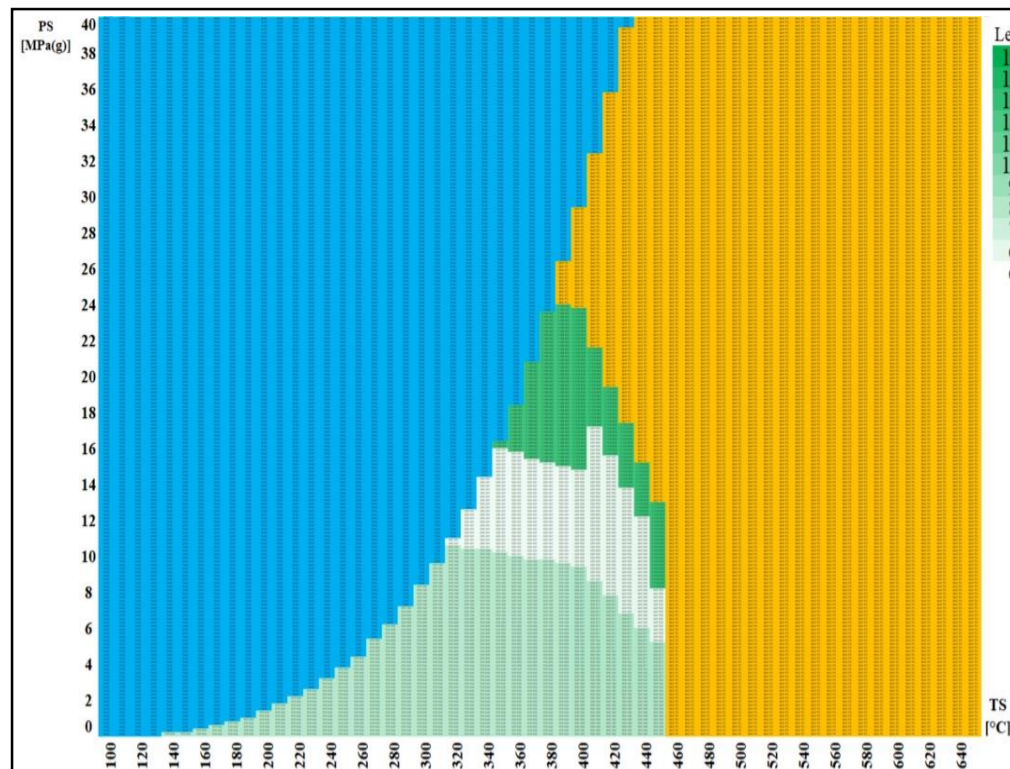
**A335 – P91**

***DN 25 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]***

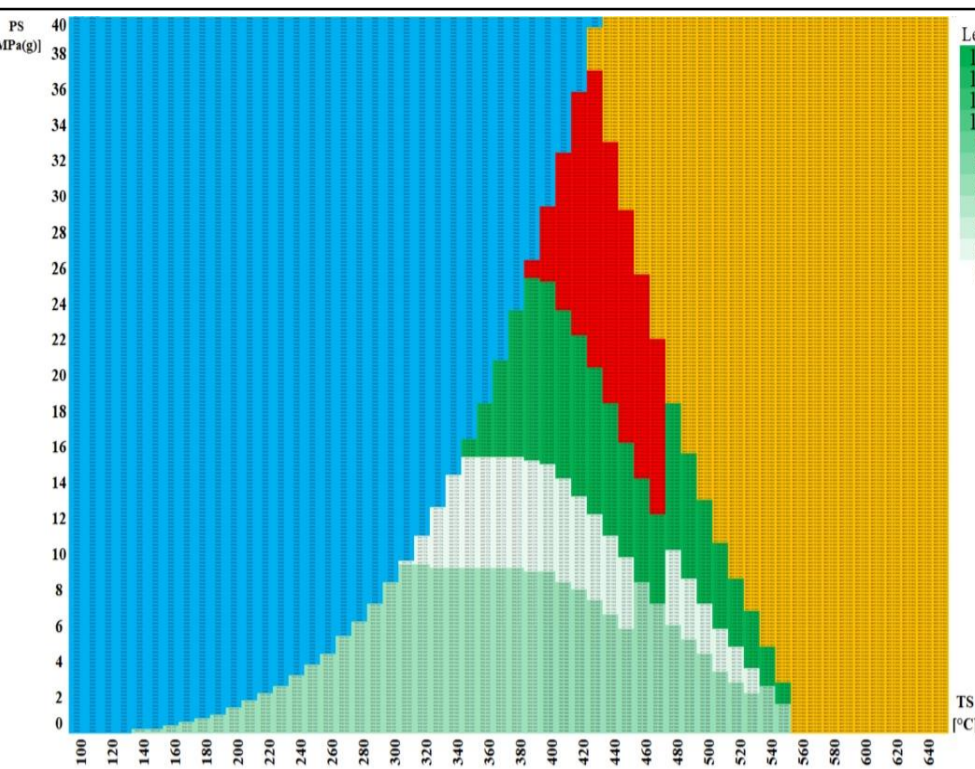
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

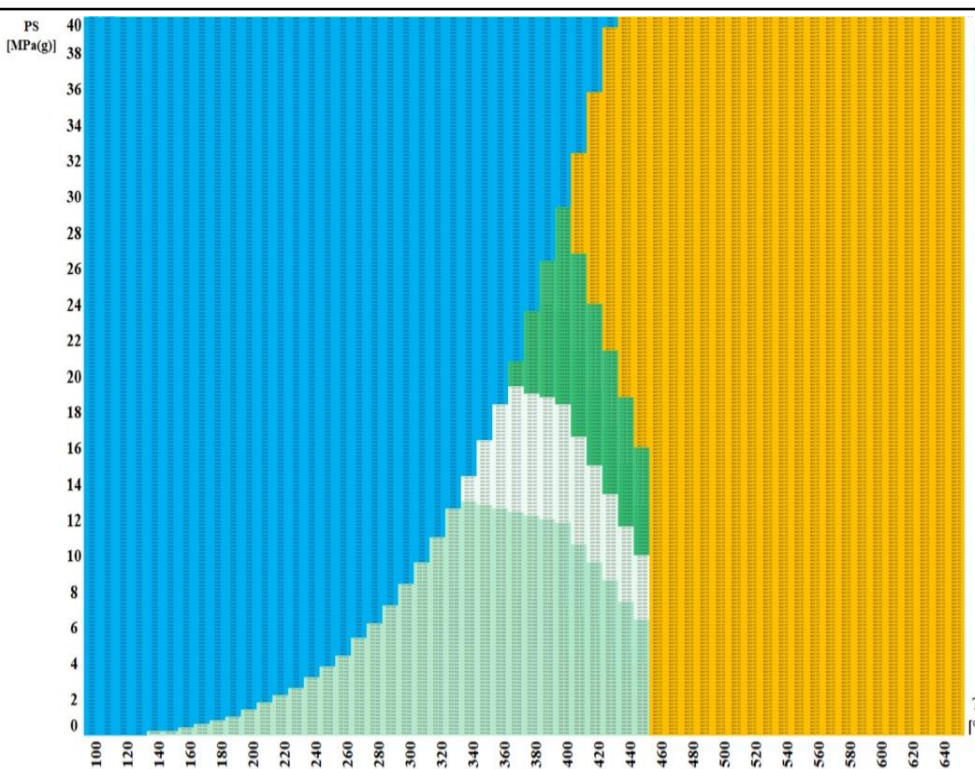
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



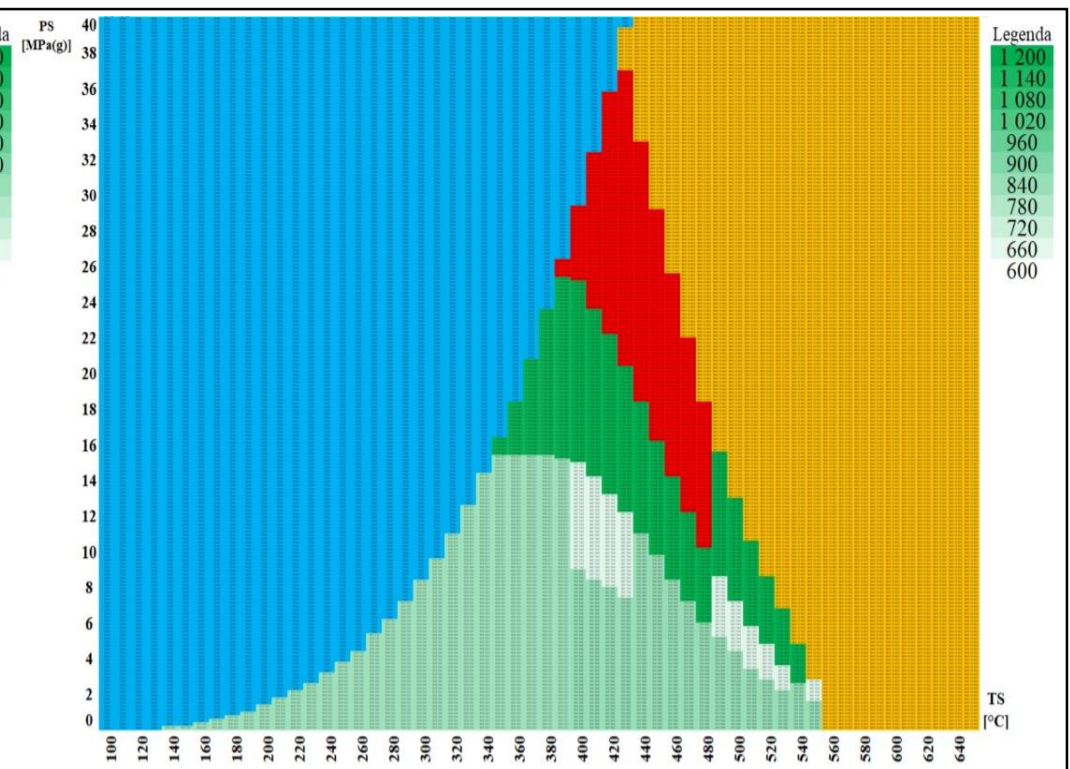
**P235GH**



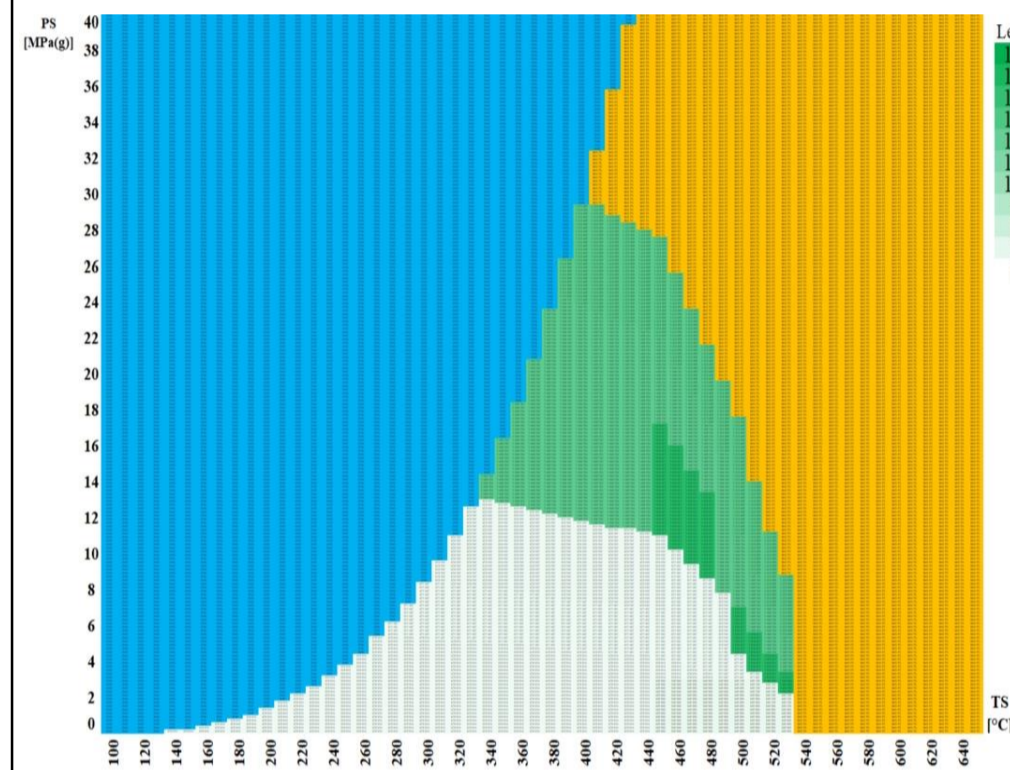
**A106-A**



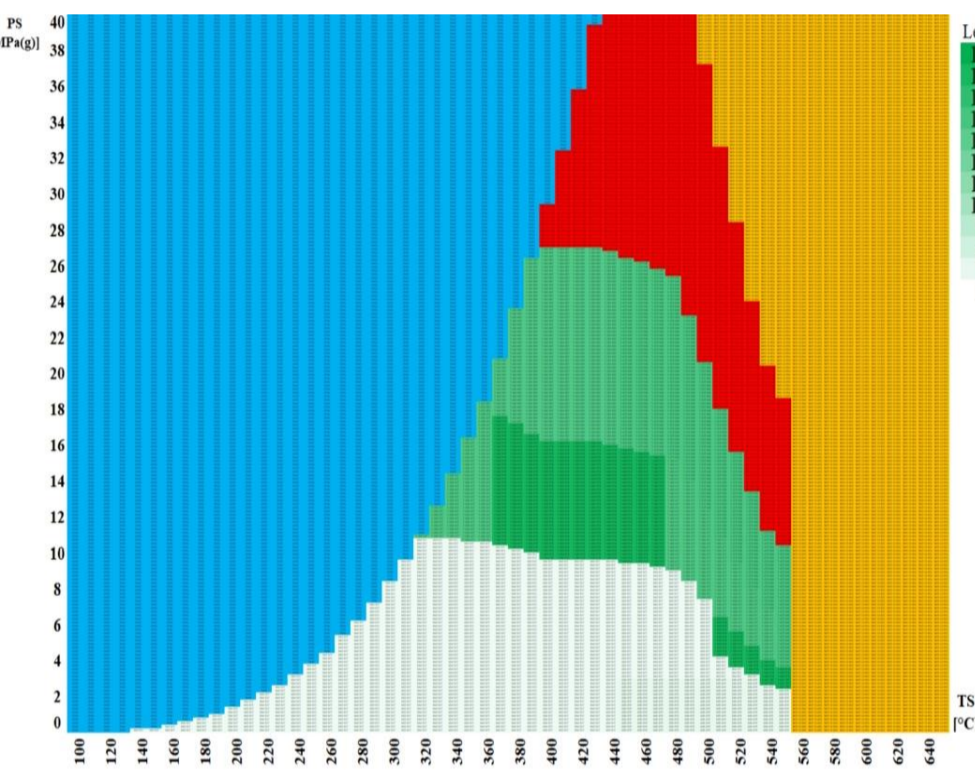
**P265GH**



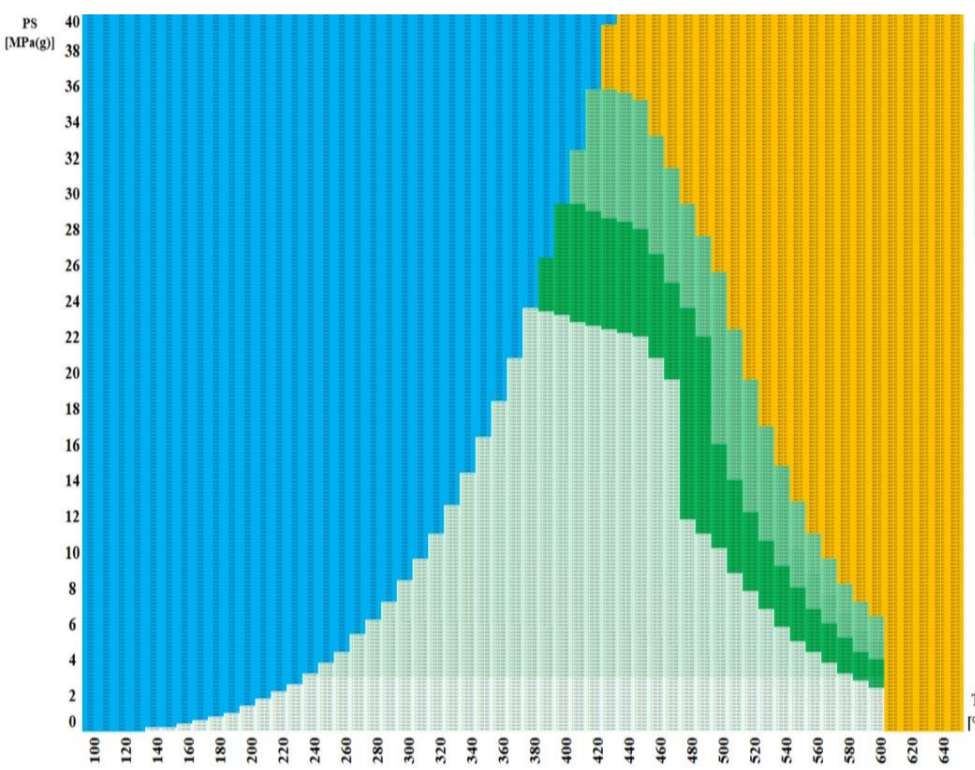
**A106-B**



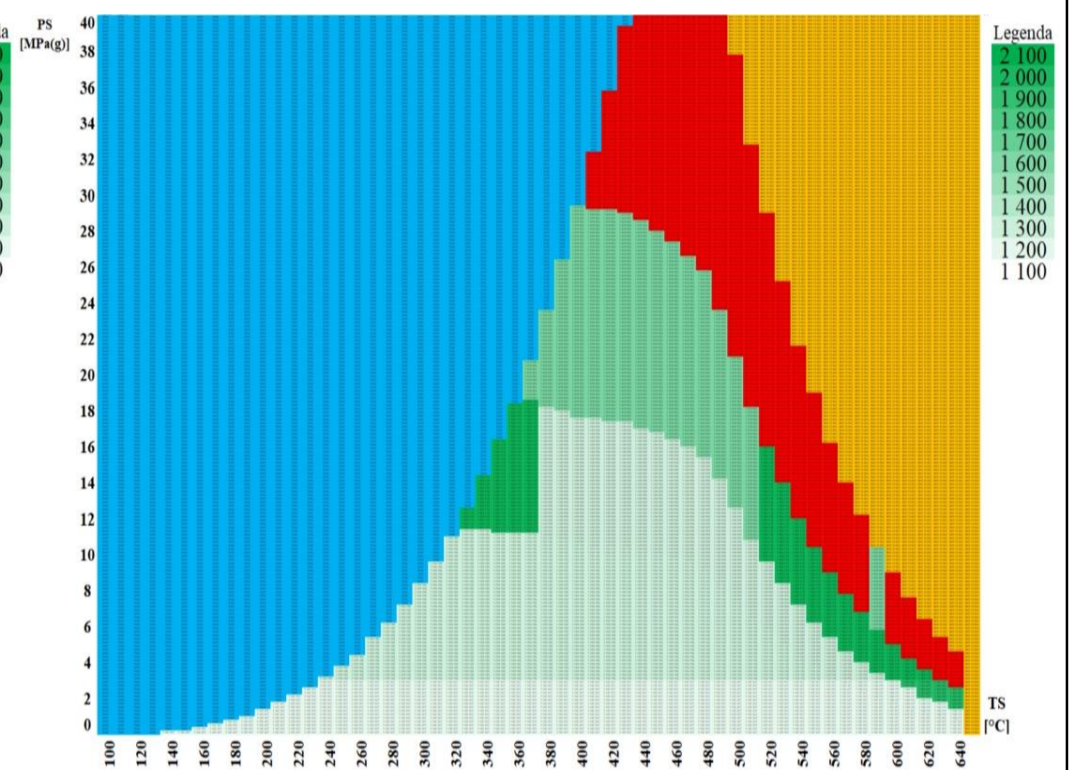
**16Mo3**



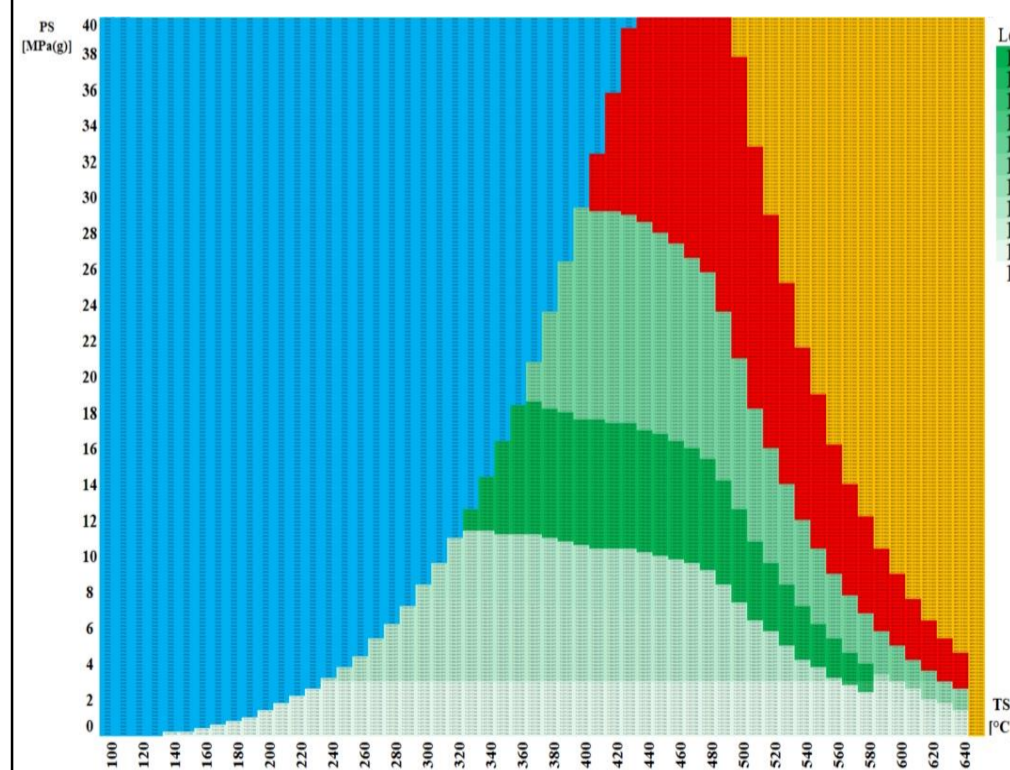
**A335-P1**



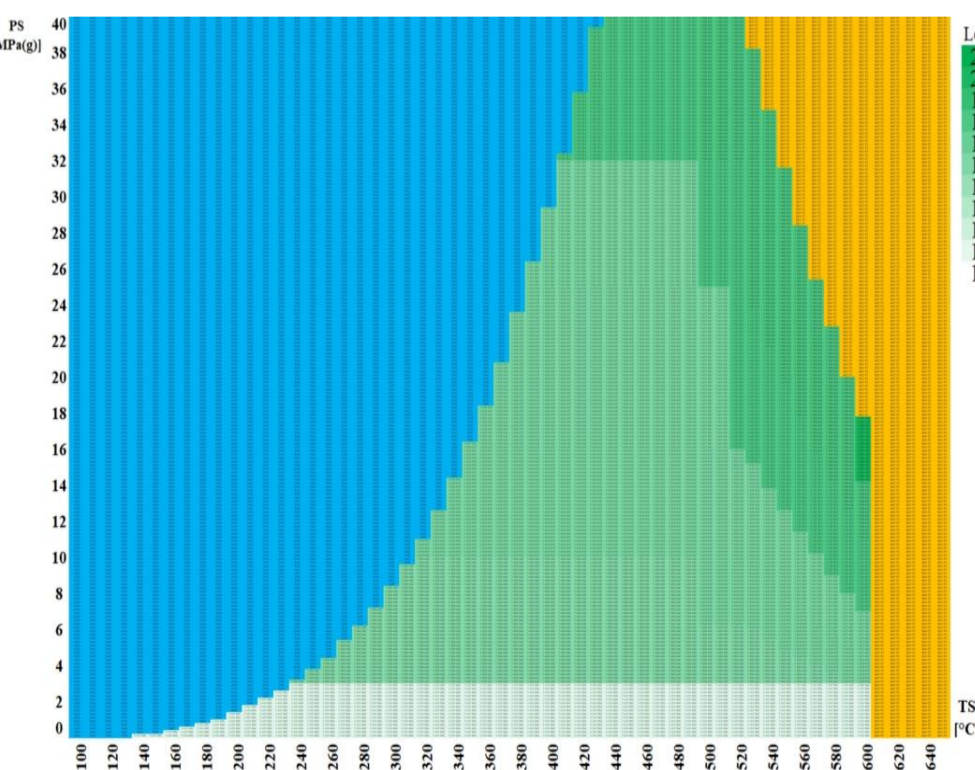
**10CrMo9-10**



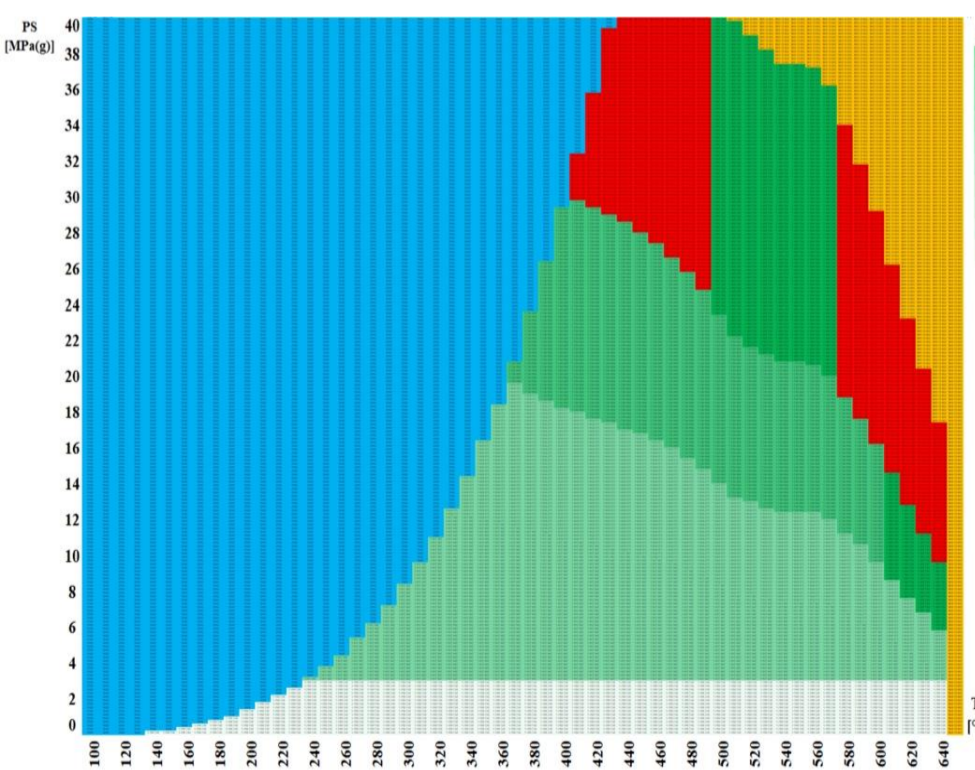
**A335 - P22**



**A335 - P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 - P91**

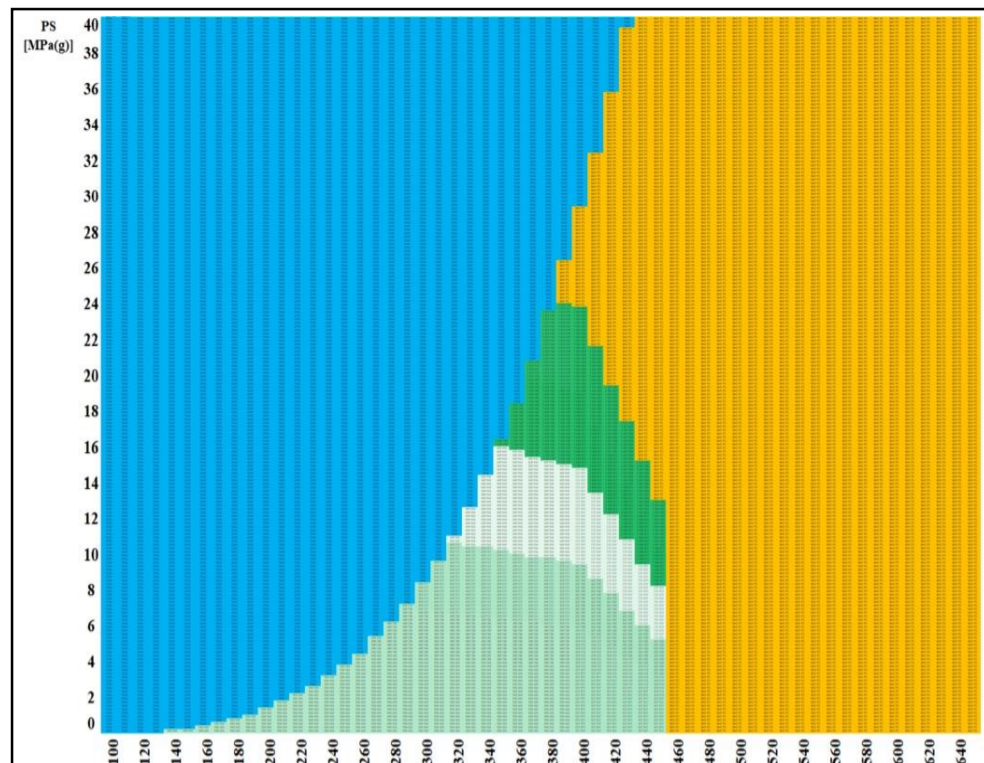
*DN 32 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

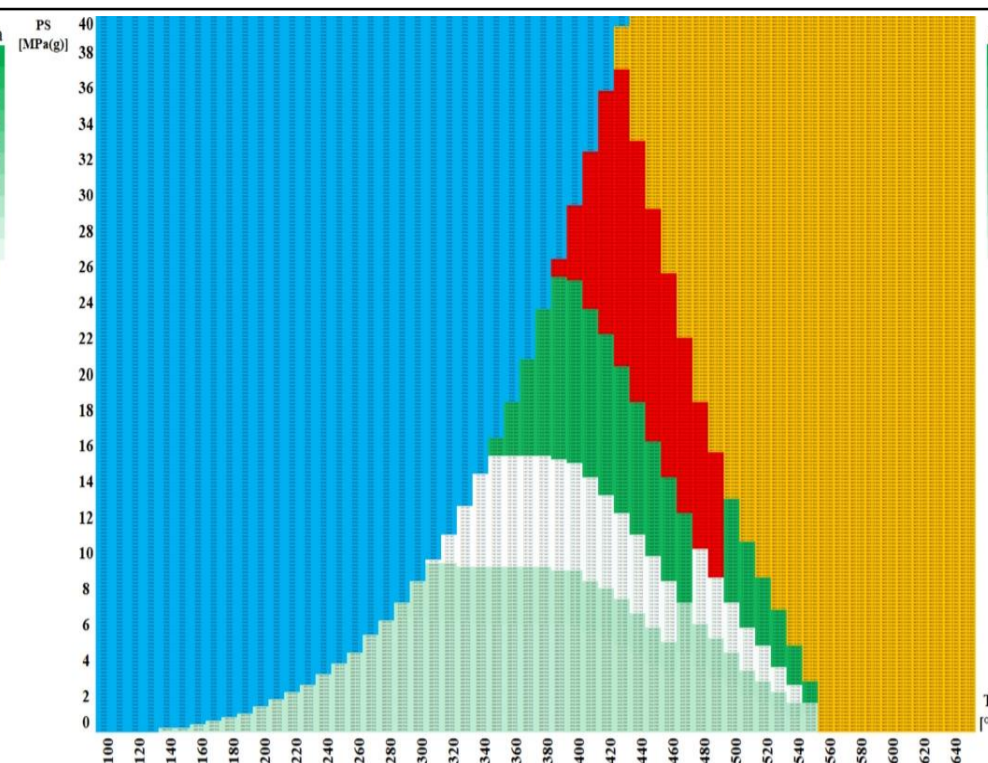
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

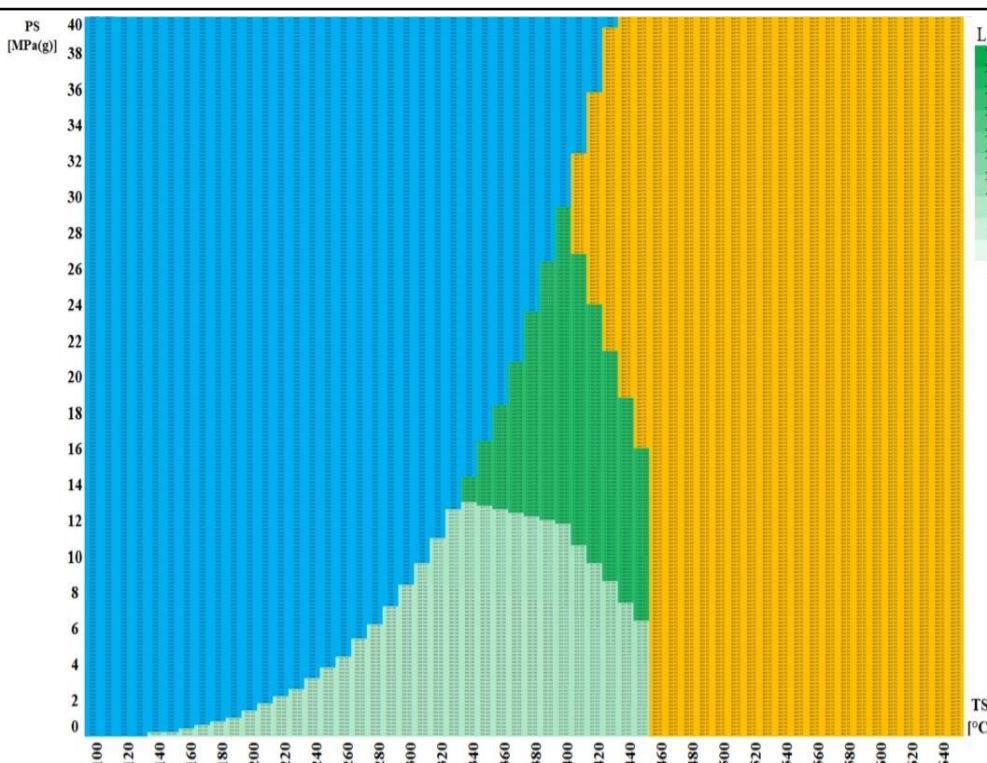




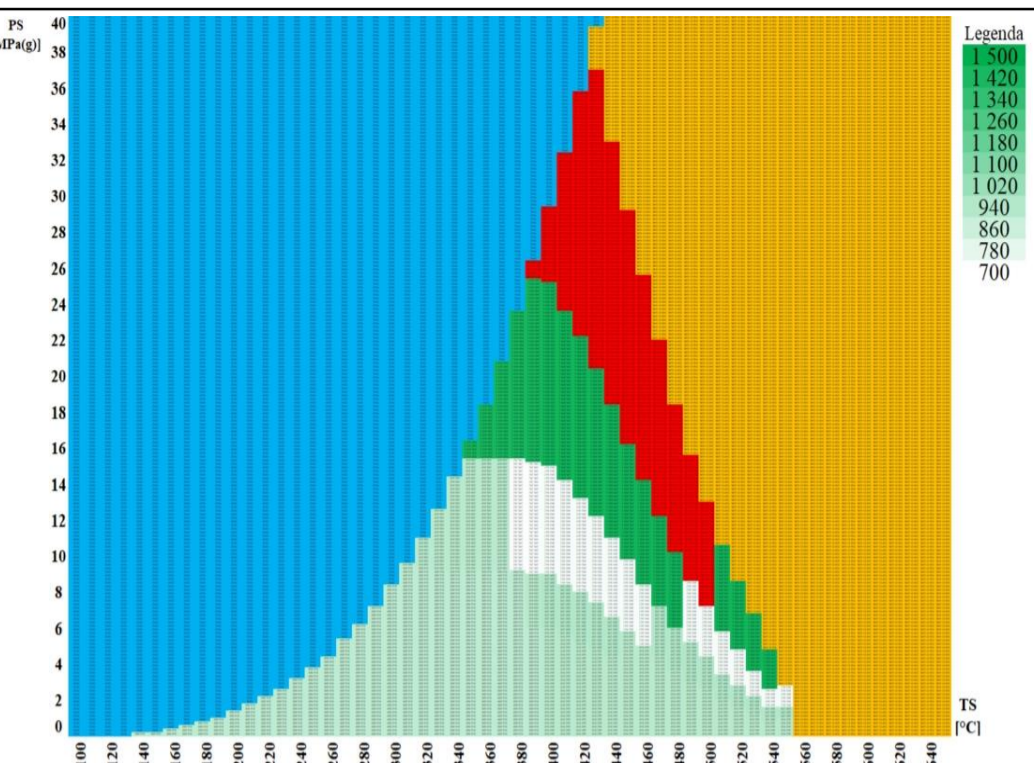
**P235GH**



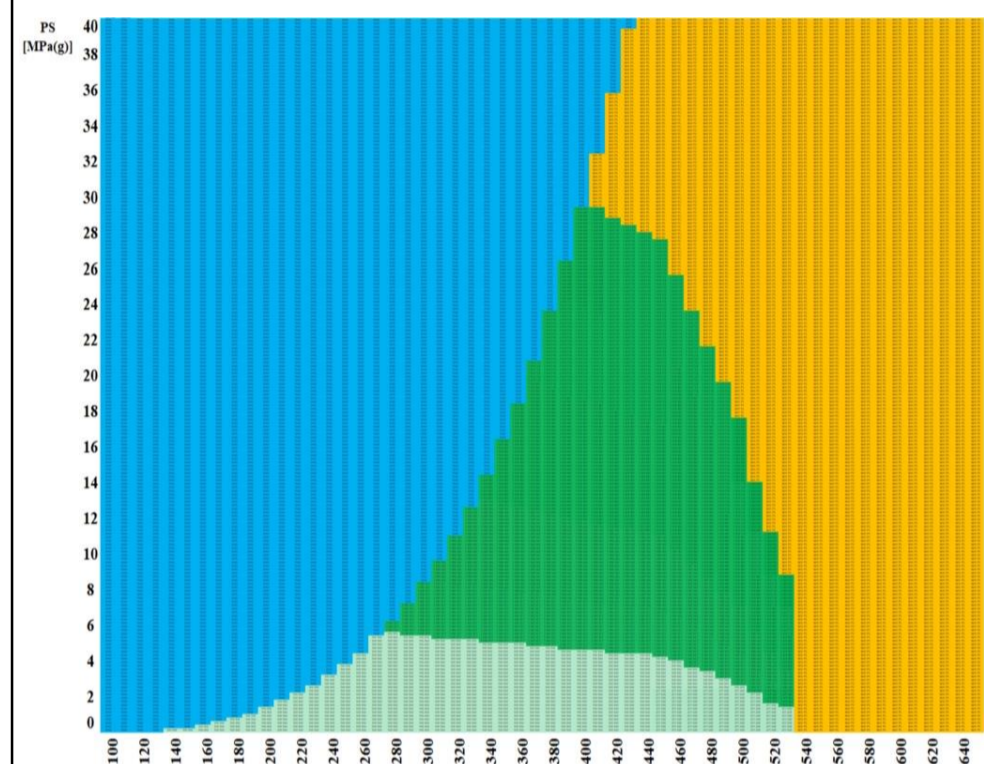
**A106-A**



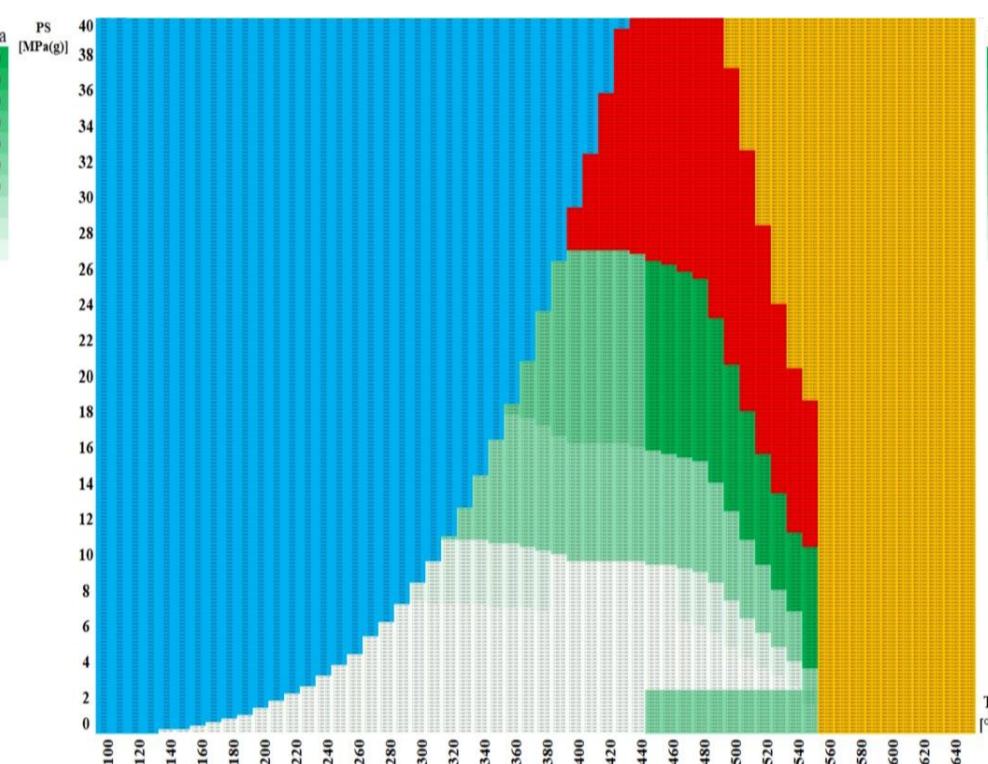
**P265GH**



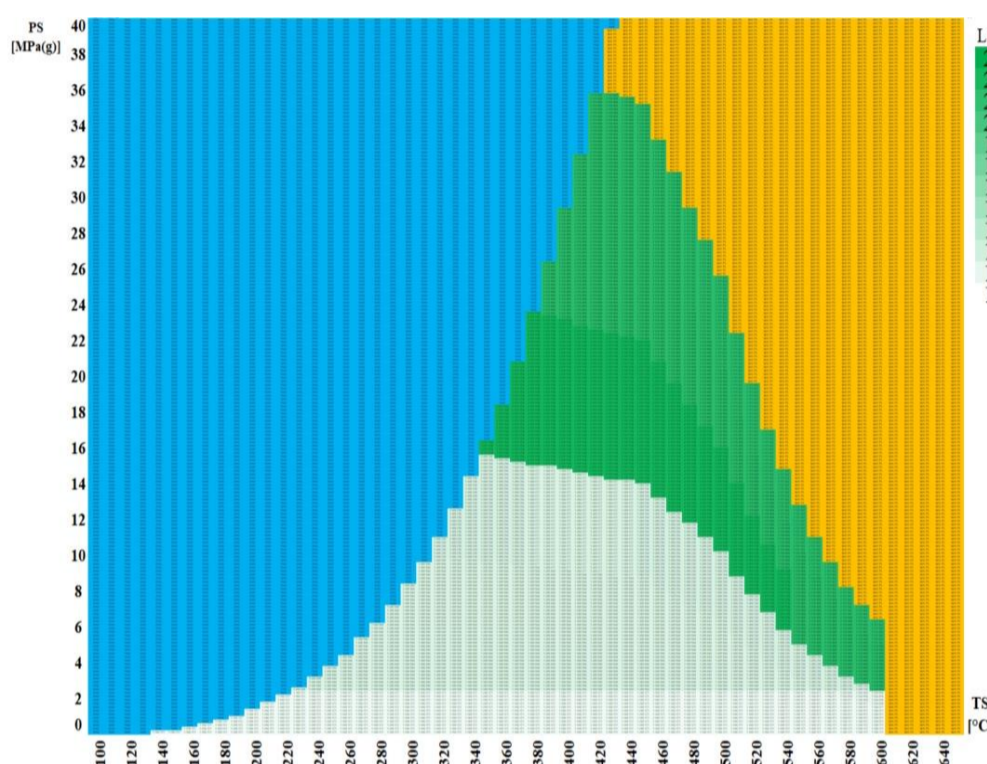
**A106-B**



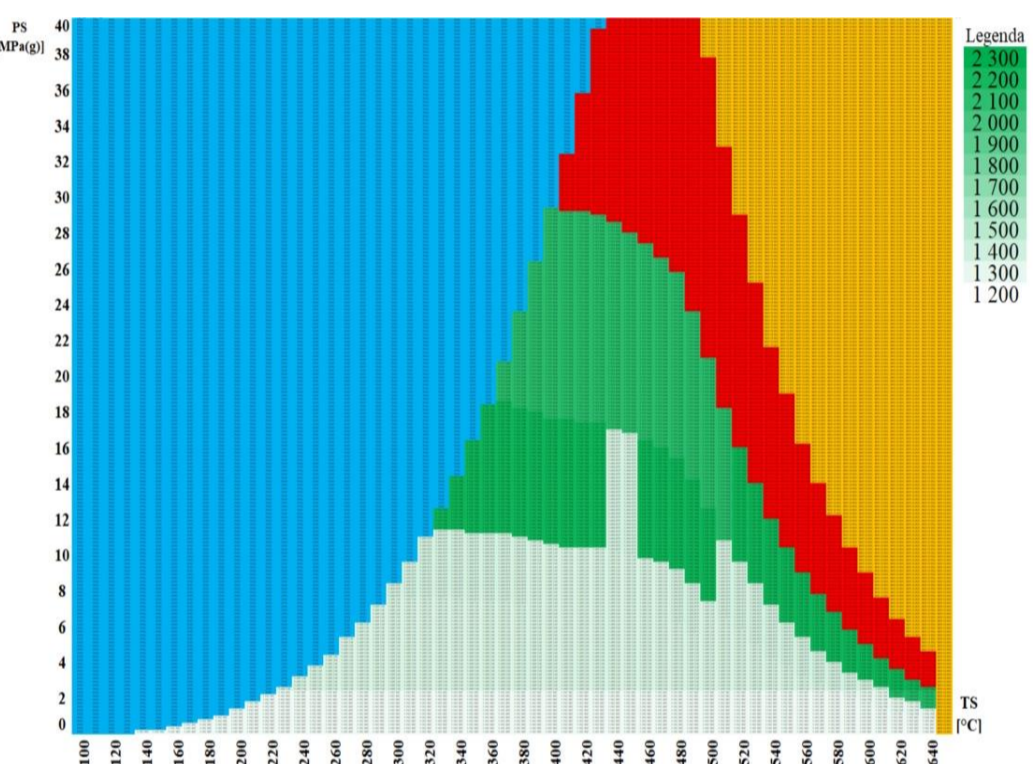
**16Mo3**



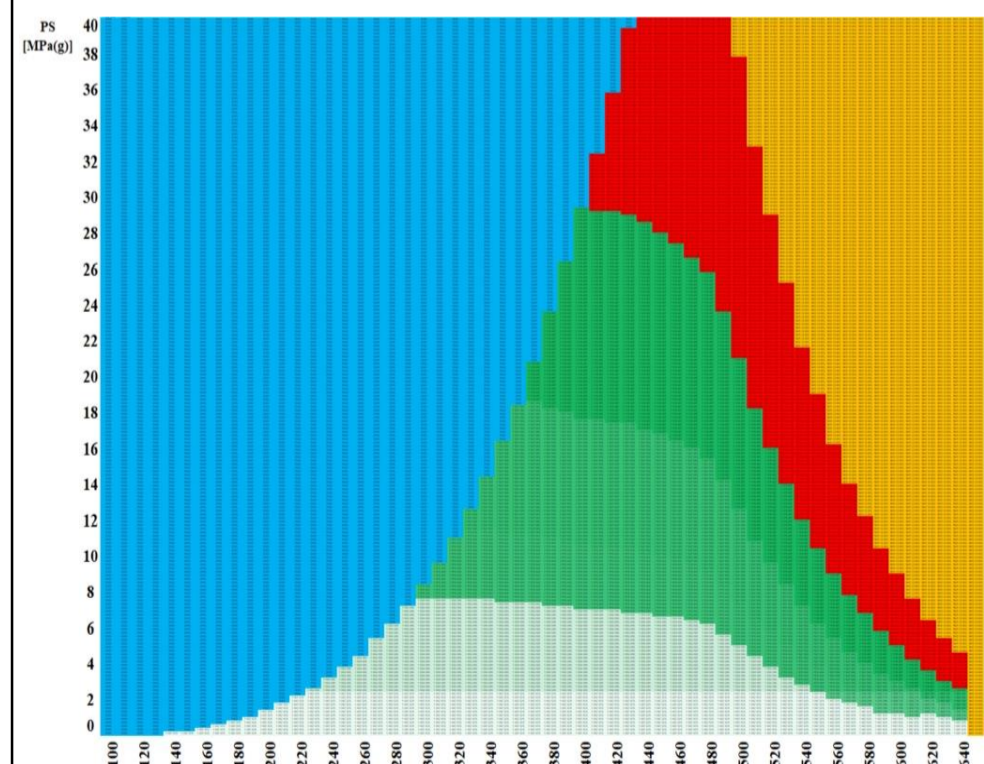
**A335-P1**



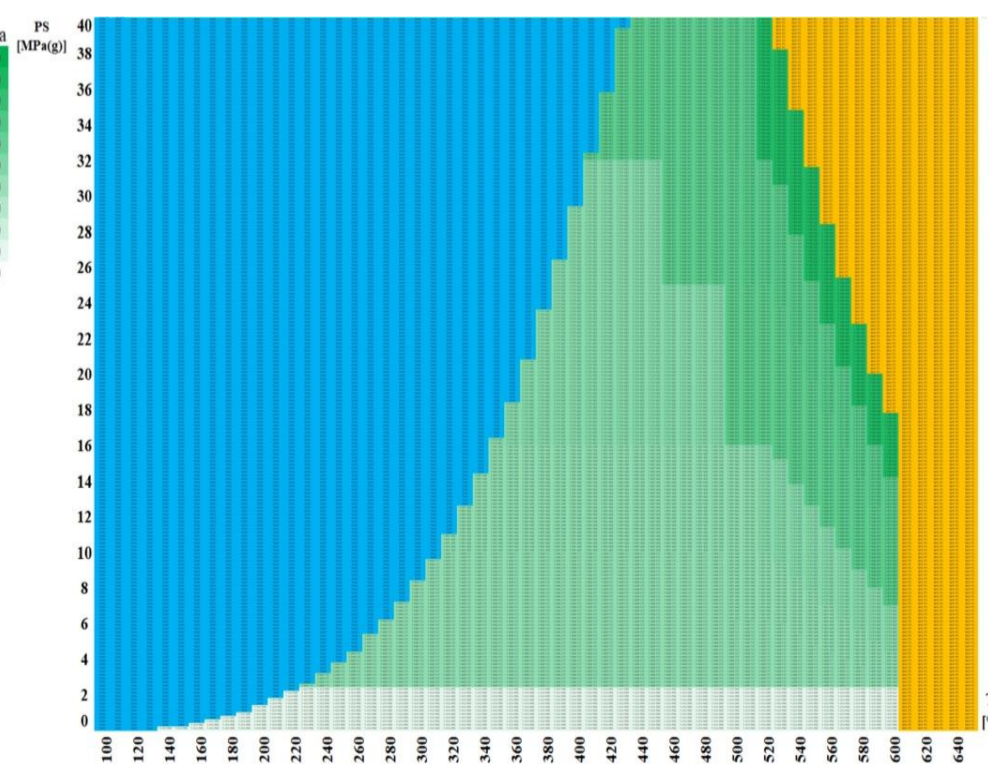
**10CrMo9-10**



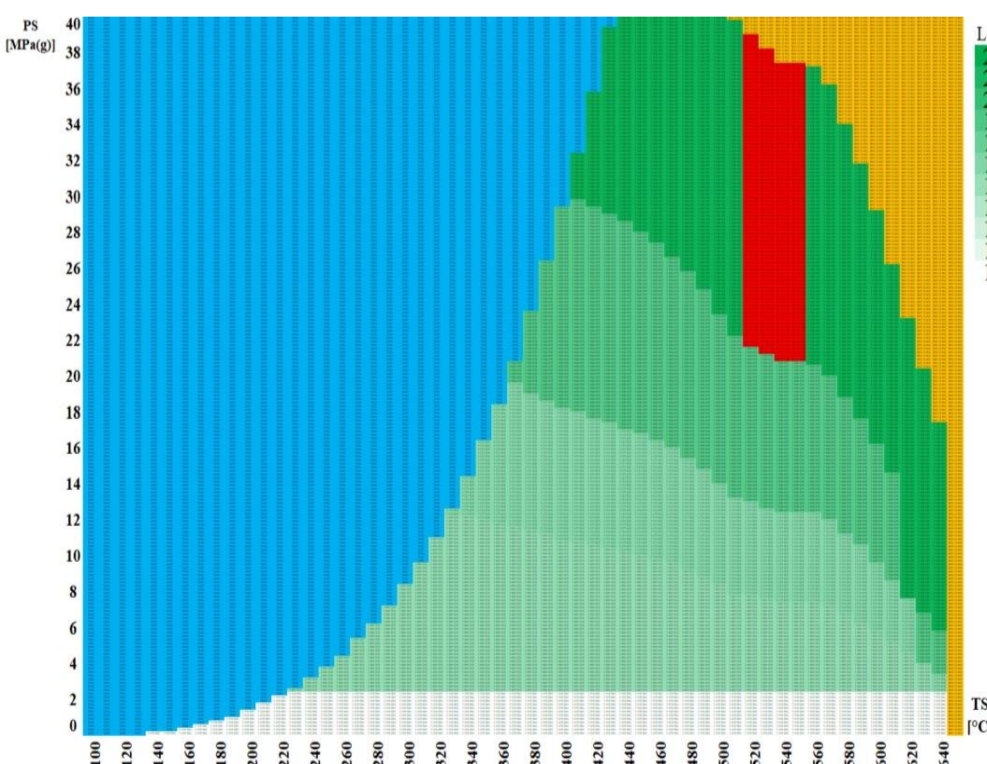
**A335 - P22**



**A335 - P11**



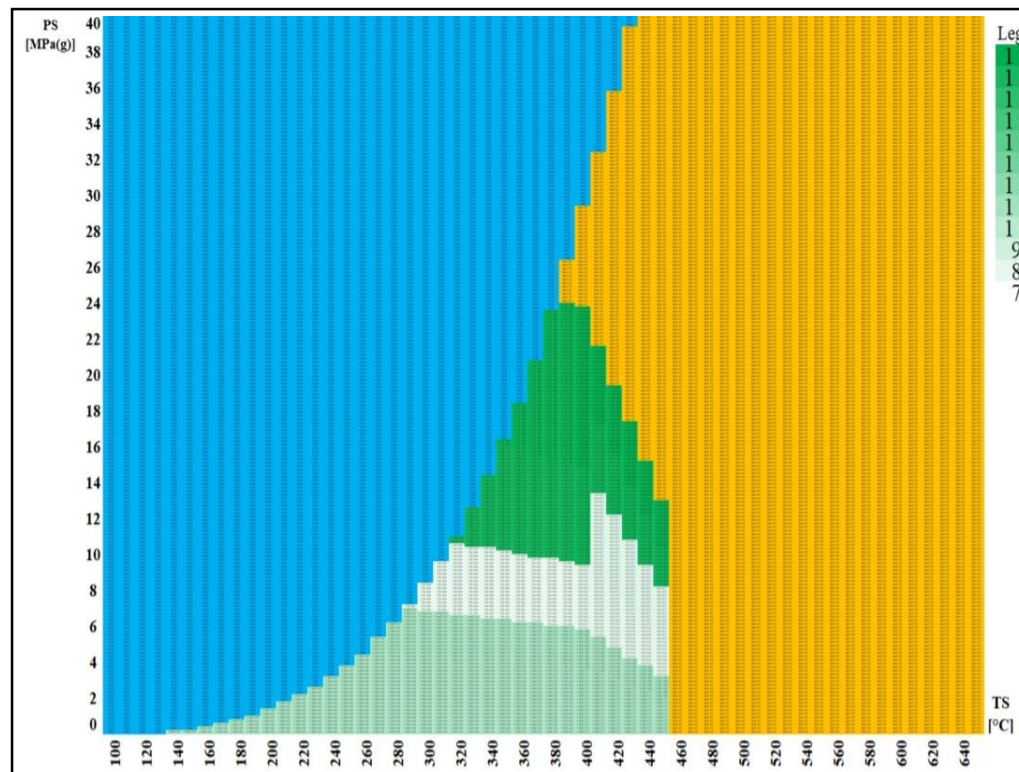
**X10CrMoVNb9-1**



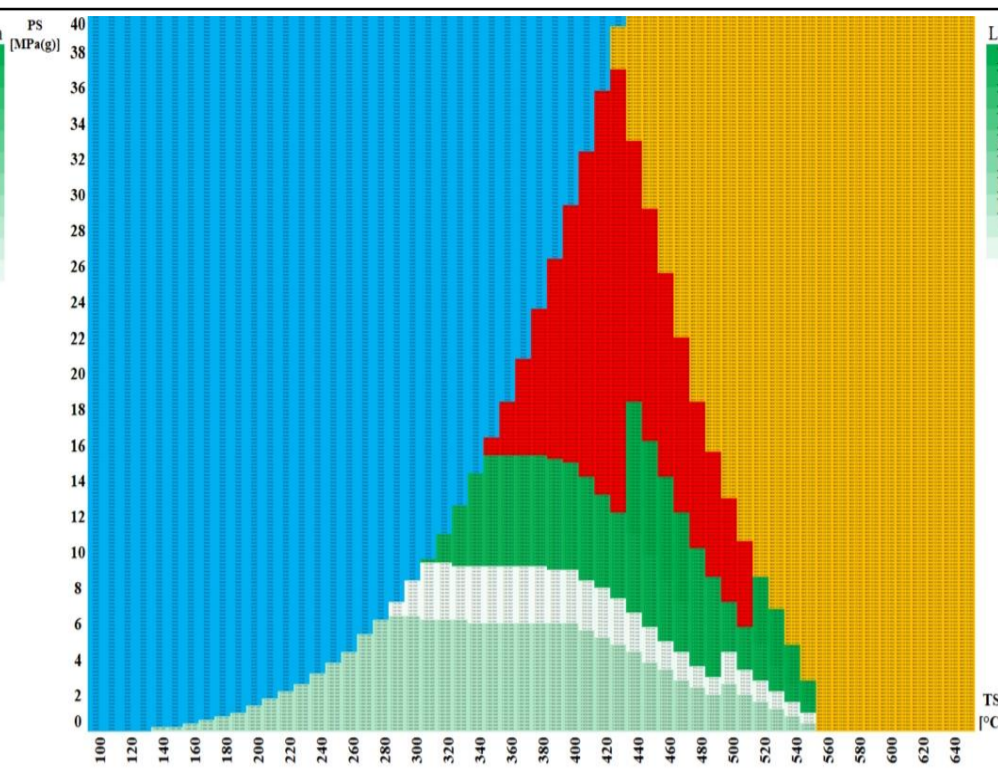
**A335 - P91**

*DN 40 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

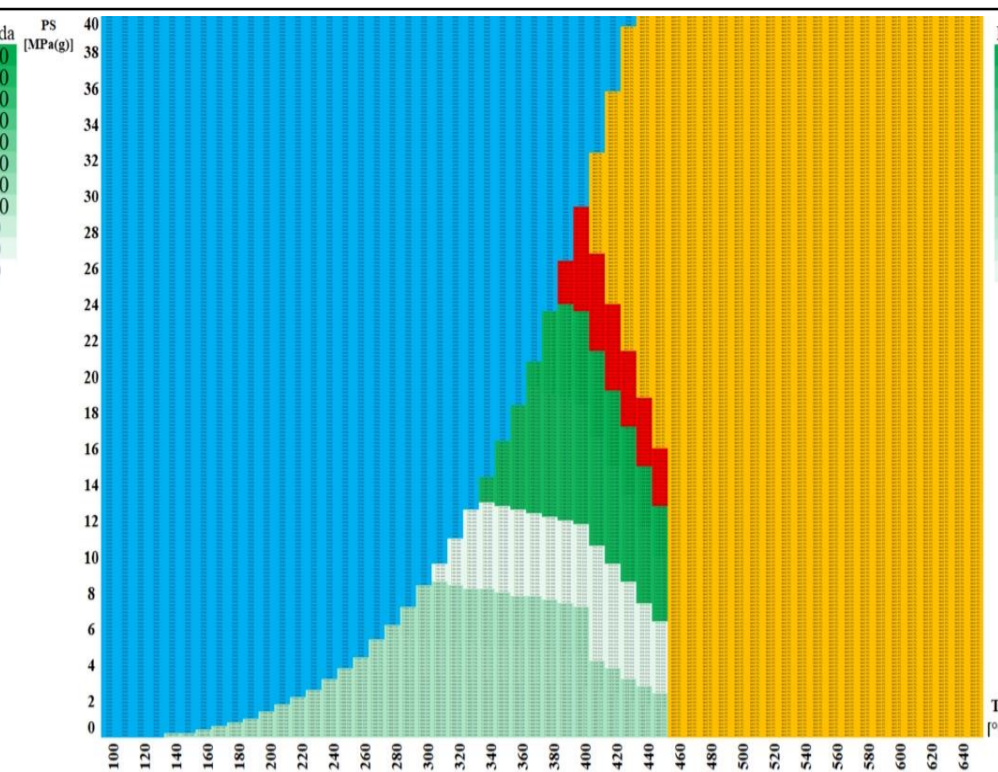
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**  
Voda  
Není definován tlakoteplotní stupeň



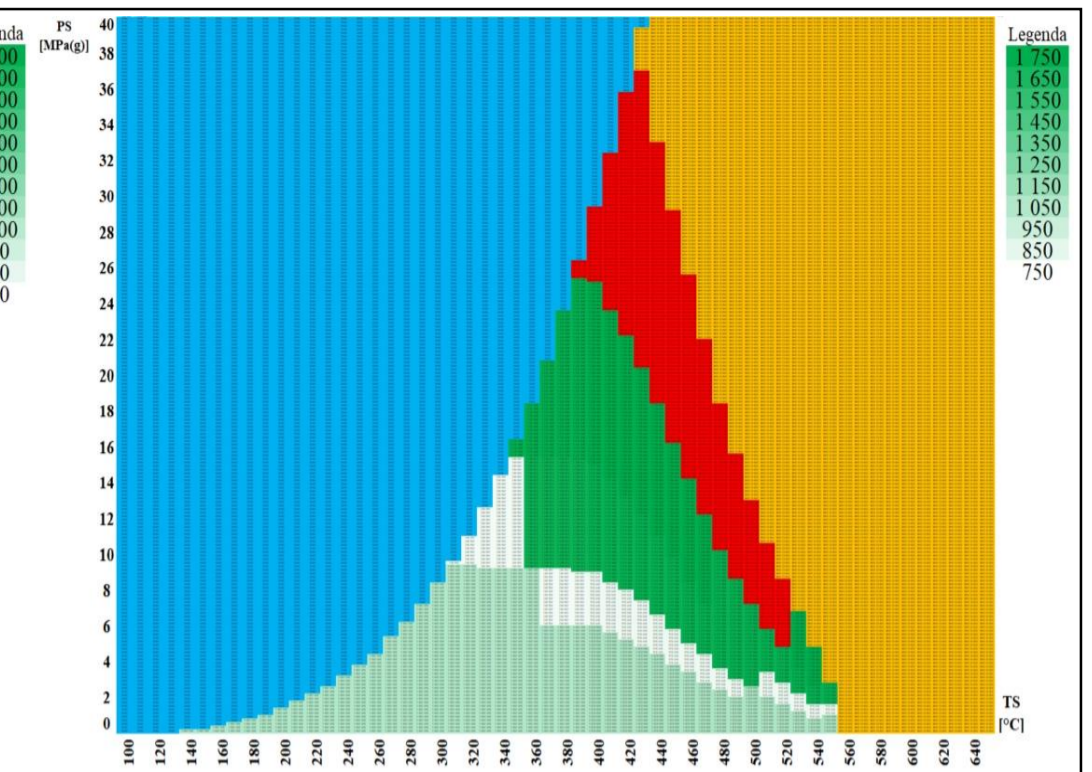
**P235GH**



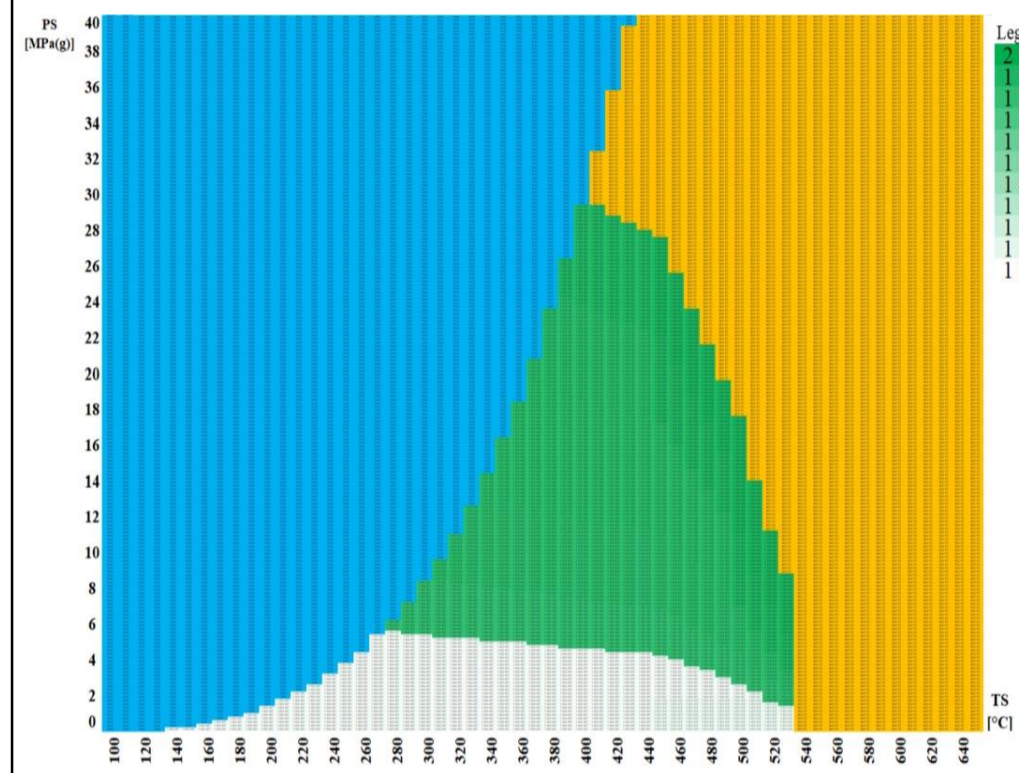
**A106-A**



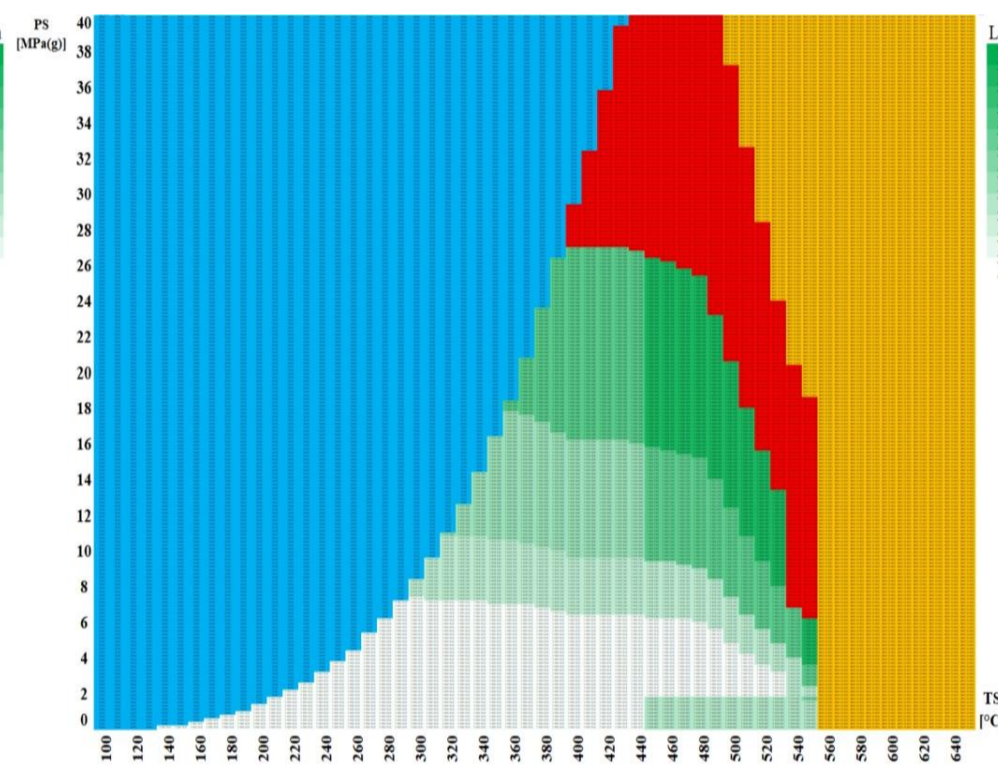
**P265GH**



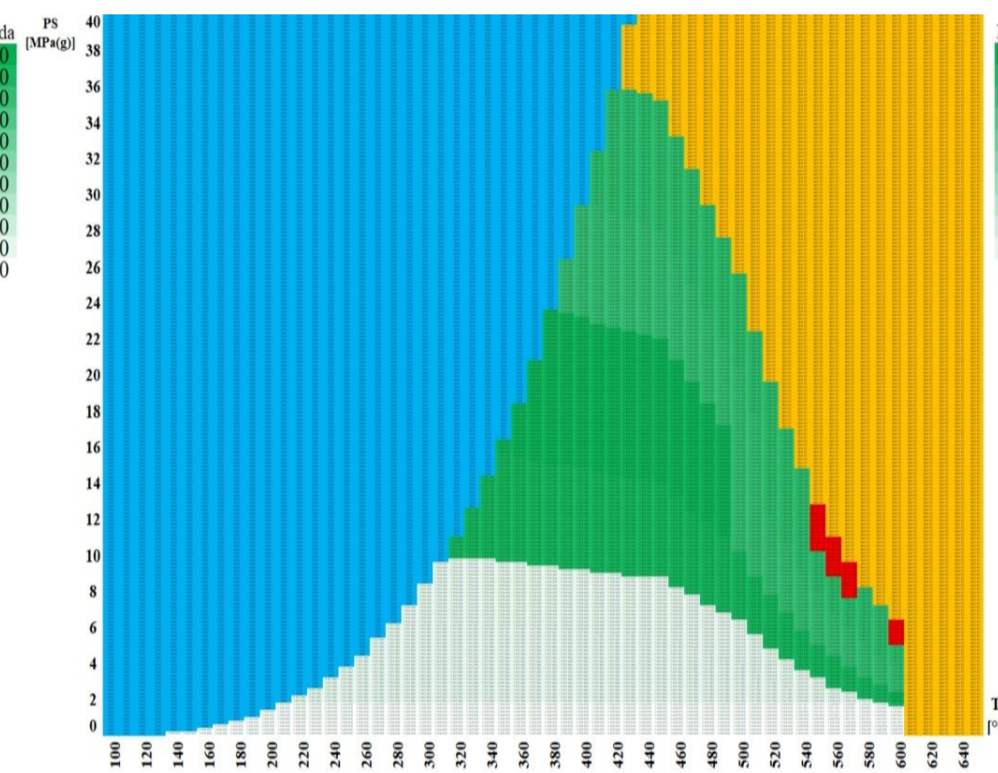
**A106-B**



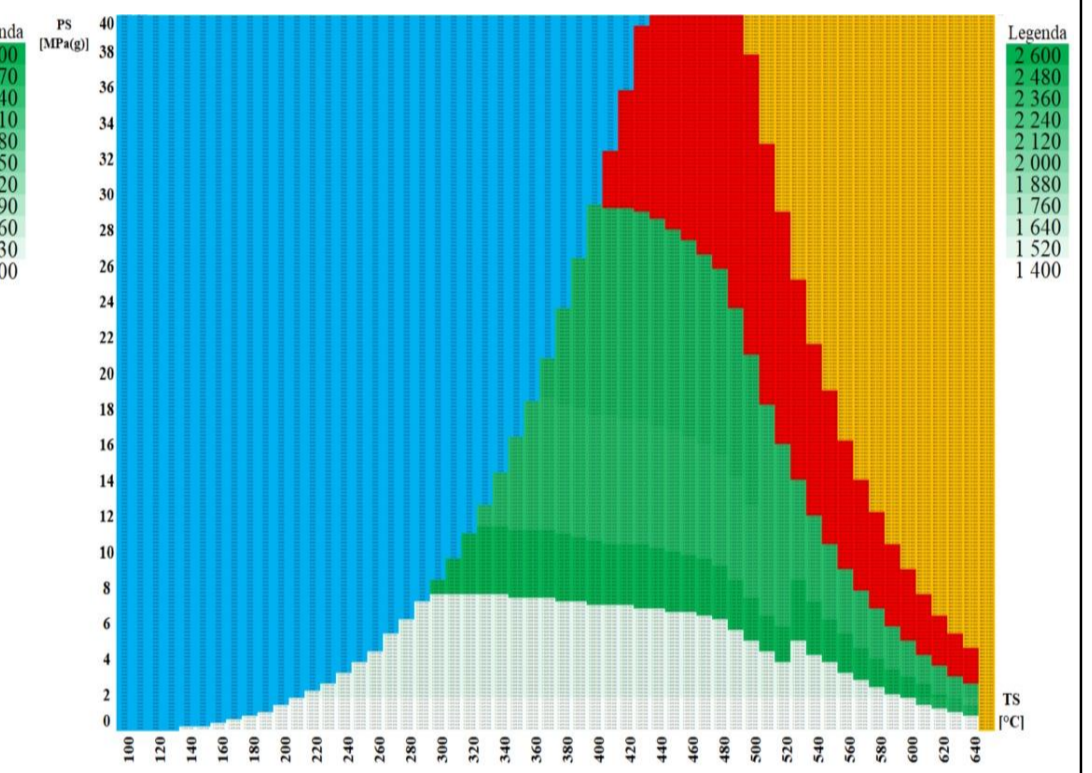
**16Mo3**



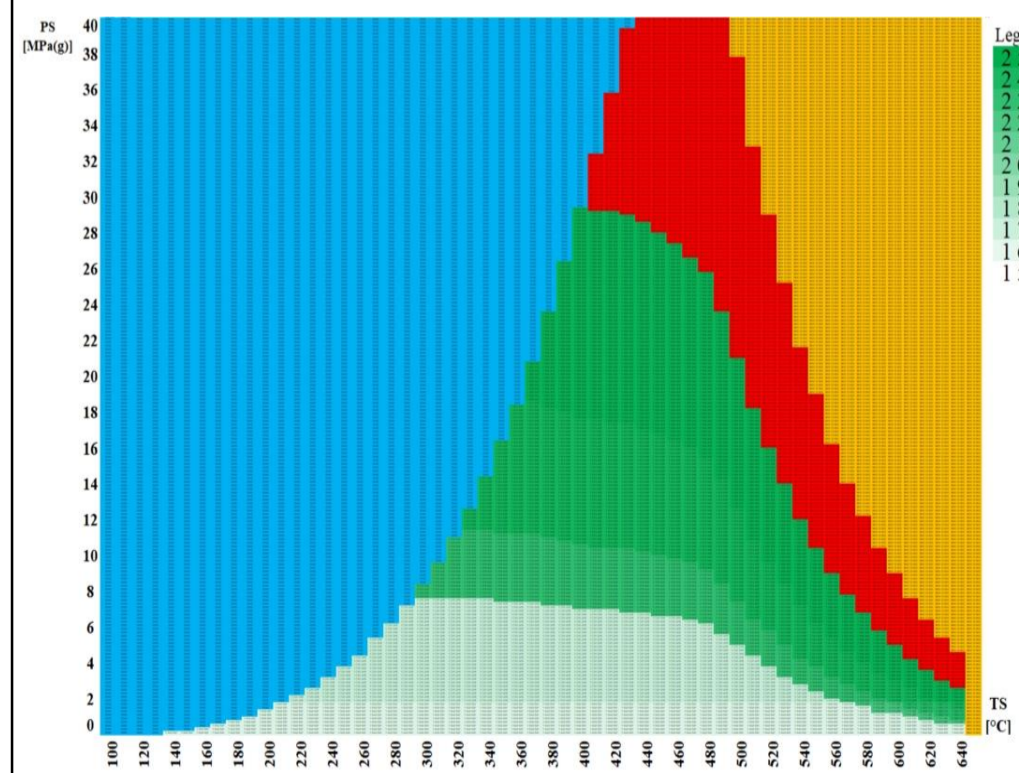
**A335-P1**



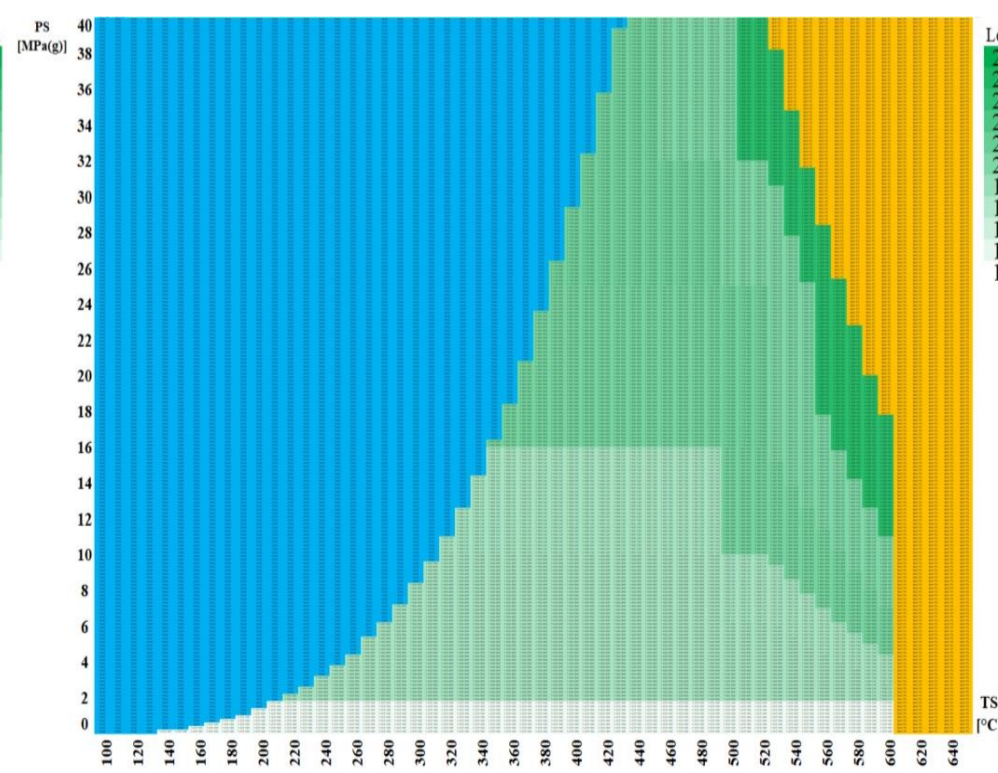
**10CrMo9-10**



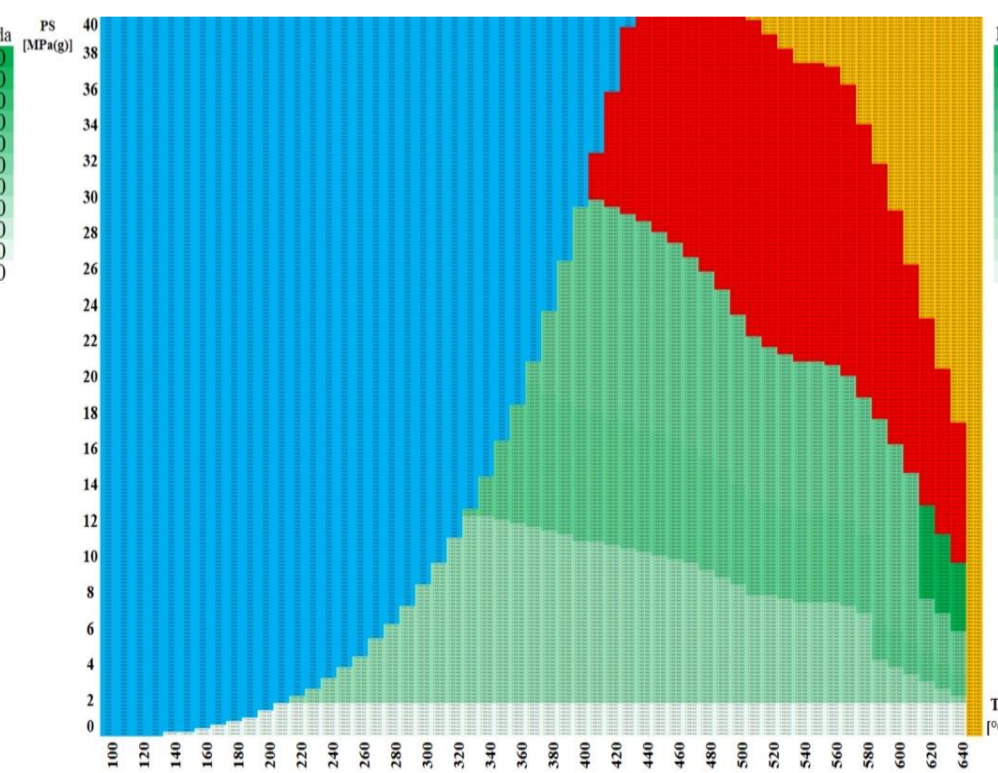
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



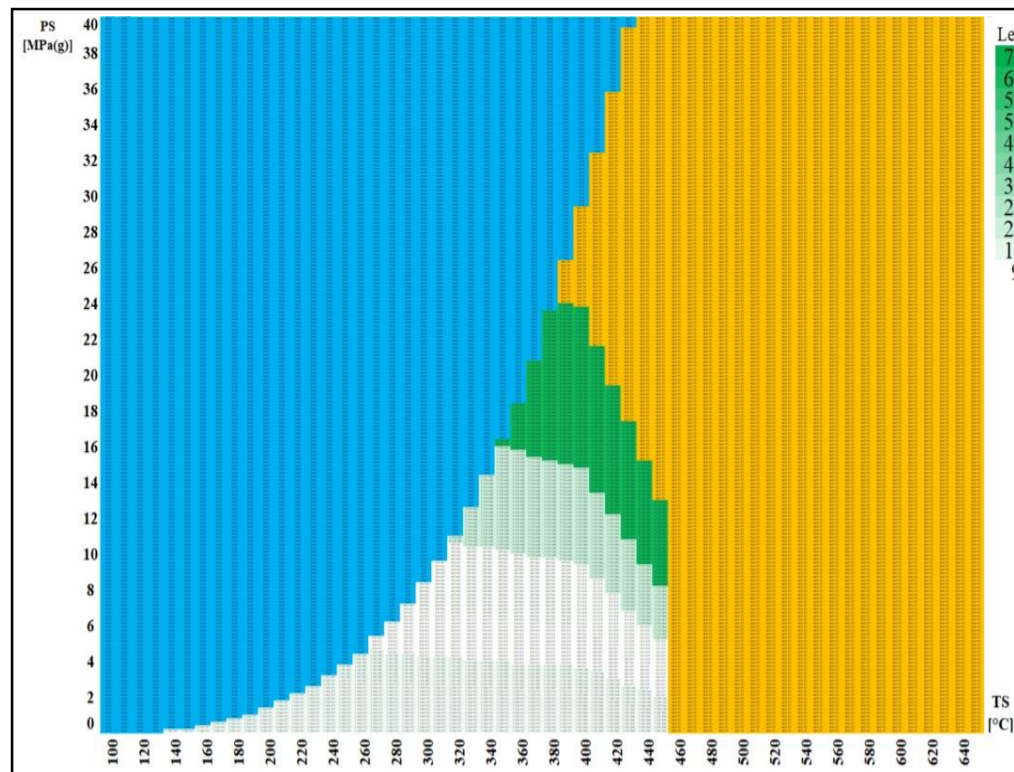
**A335 – P91**

*DN 50 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

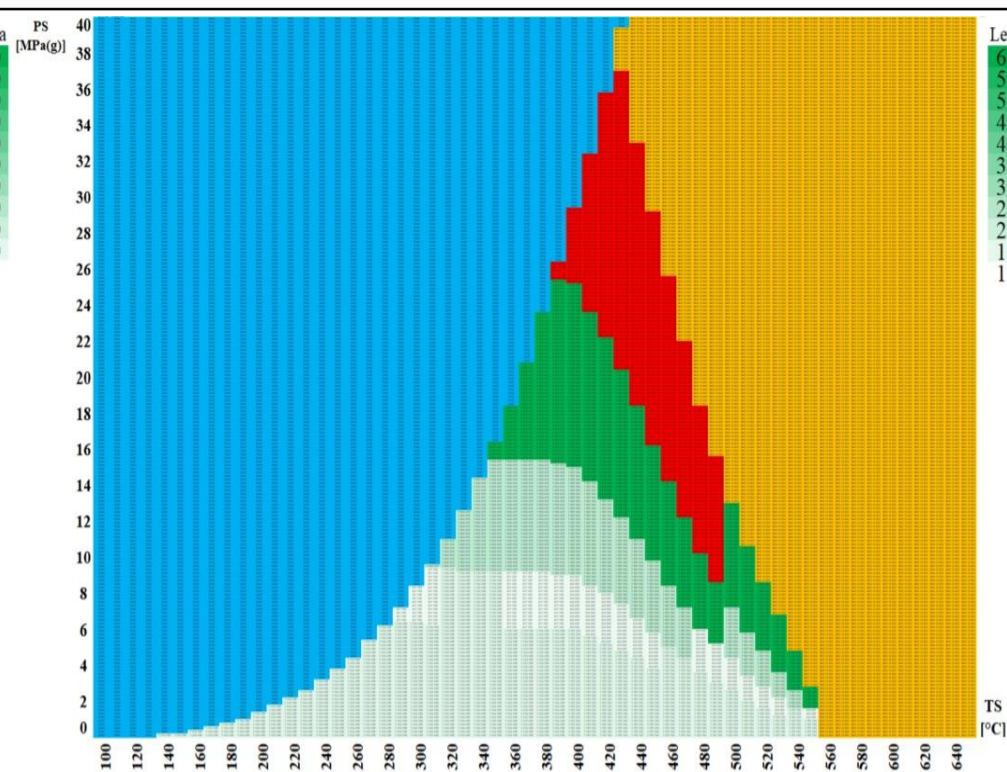
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

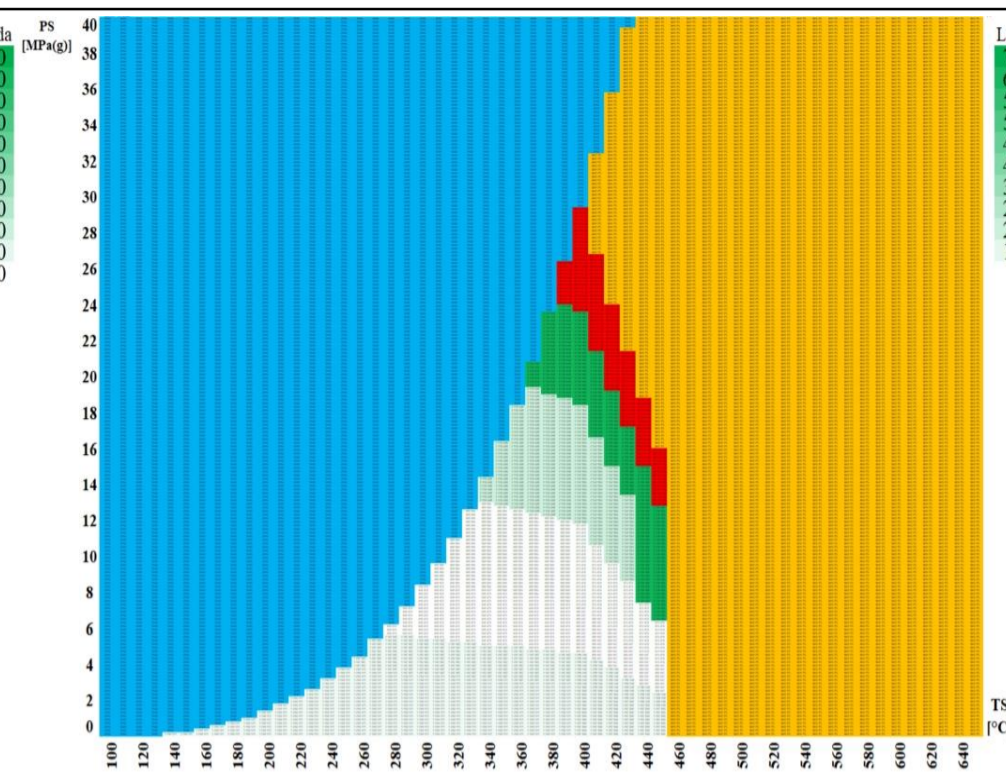
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



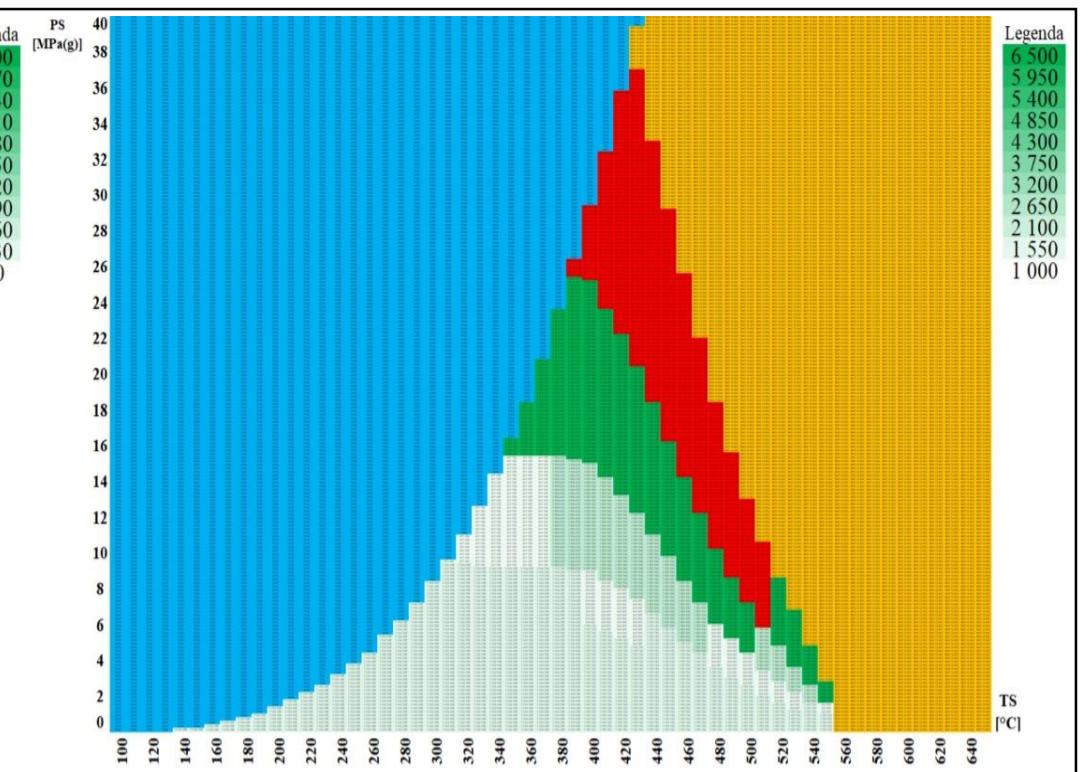
**P235GH**



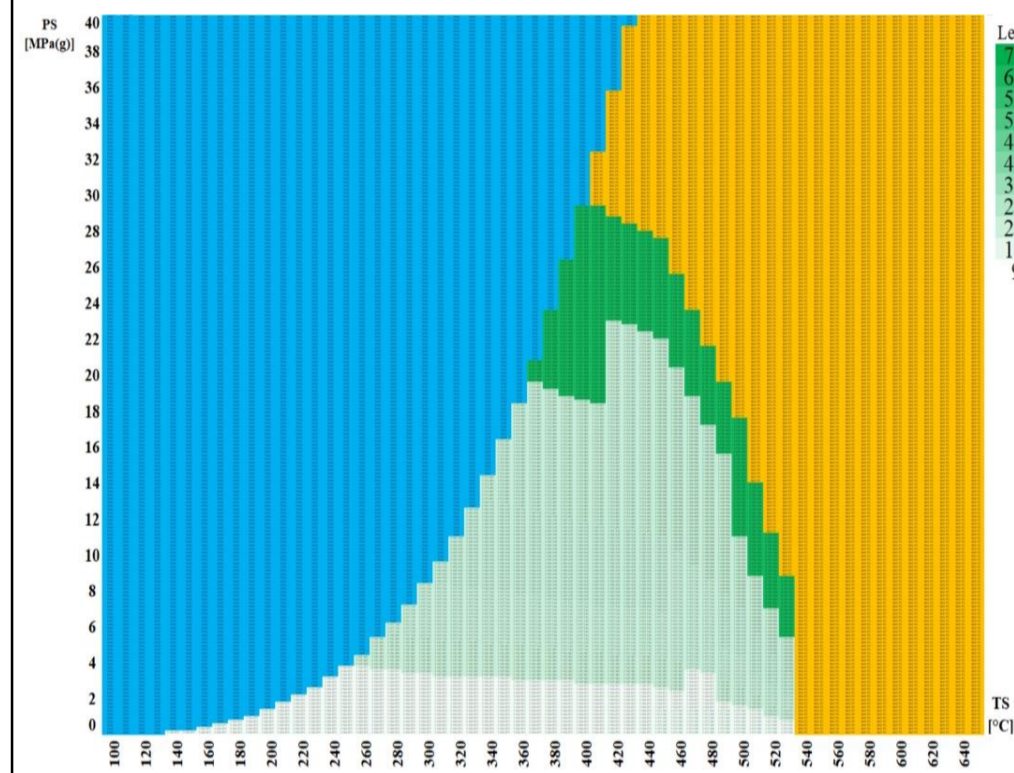
**A106-A**



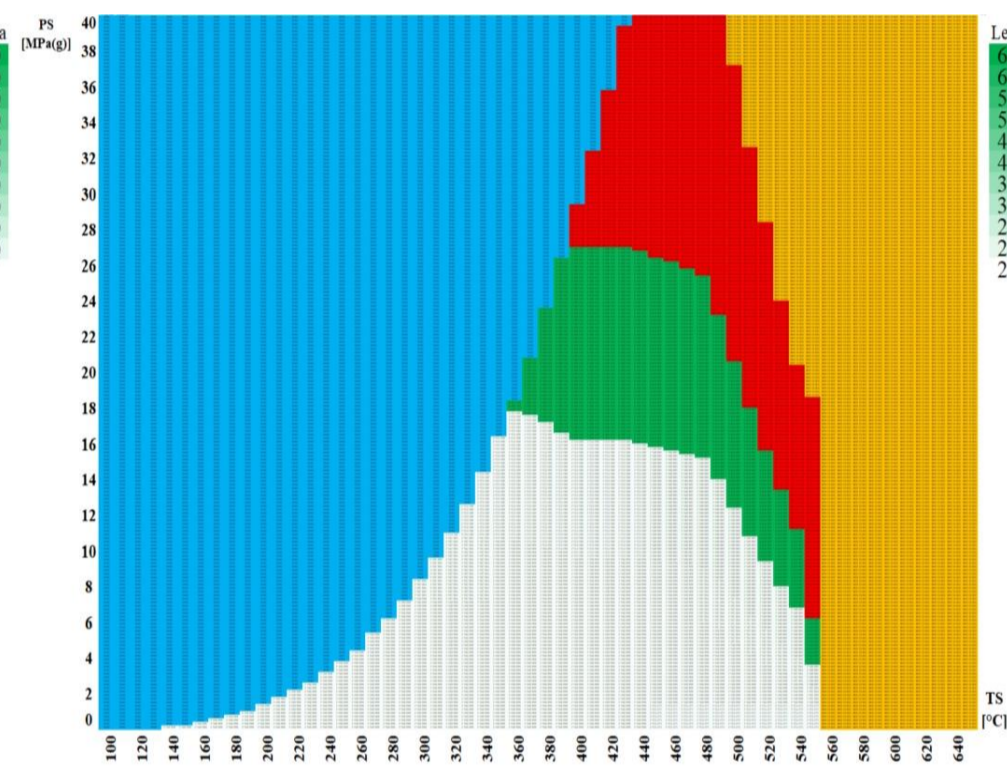
**P265GH**



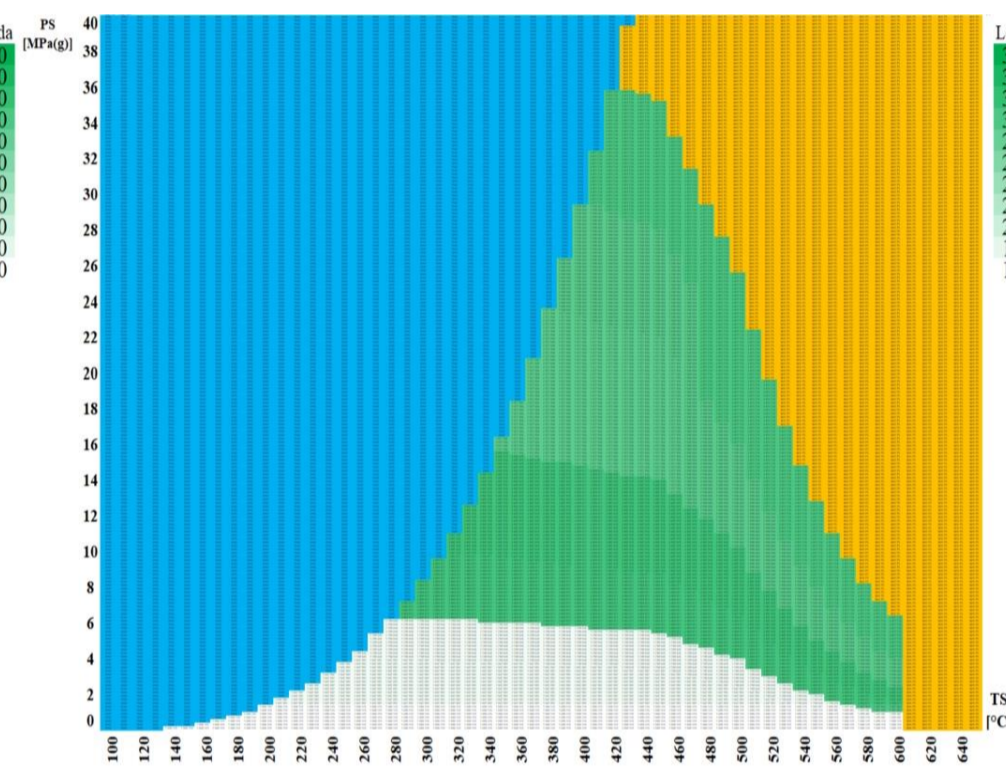
**A106-B**



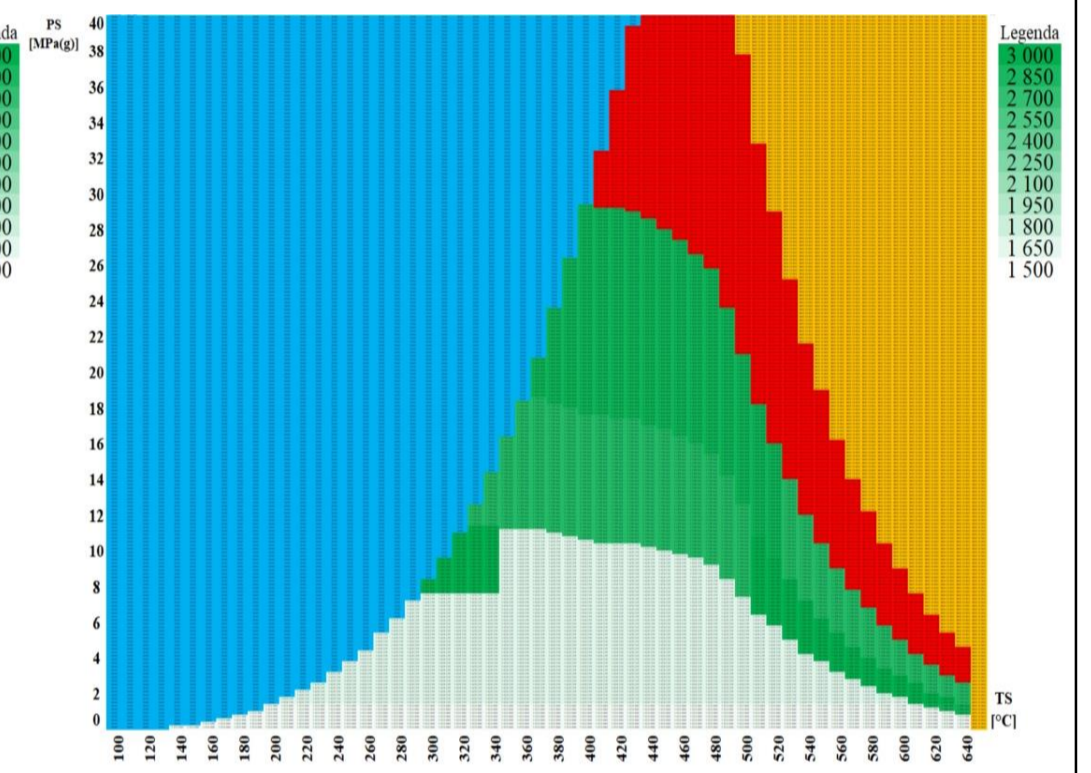
**16Mo3**



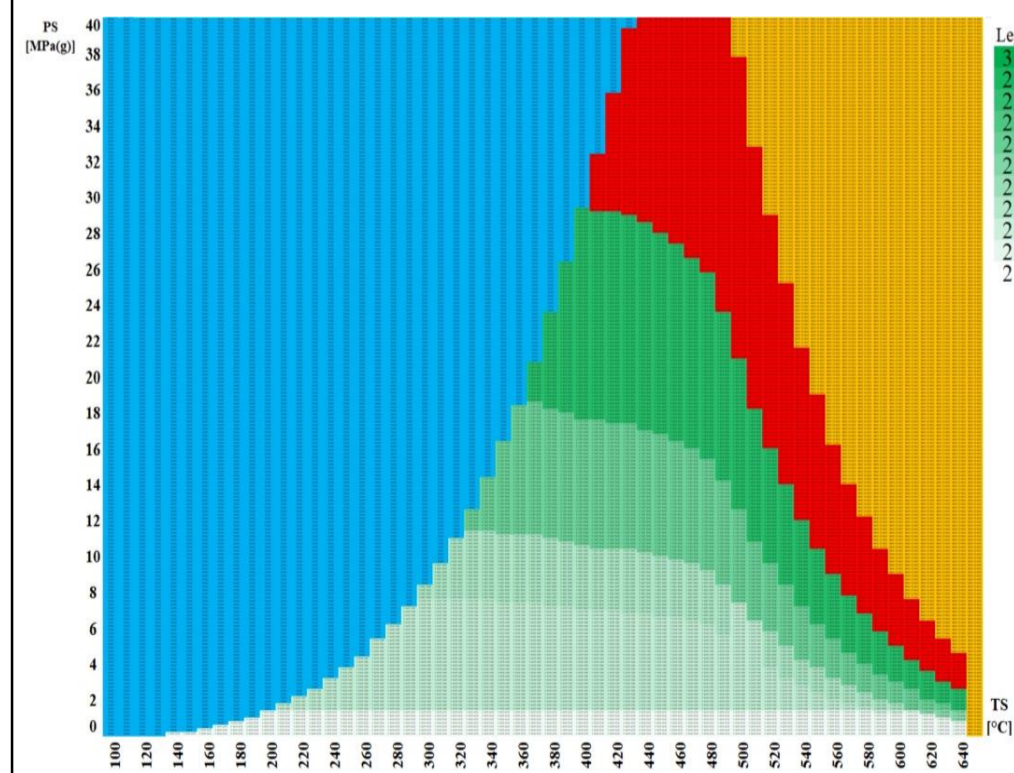
**A335-P1**



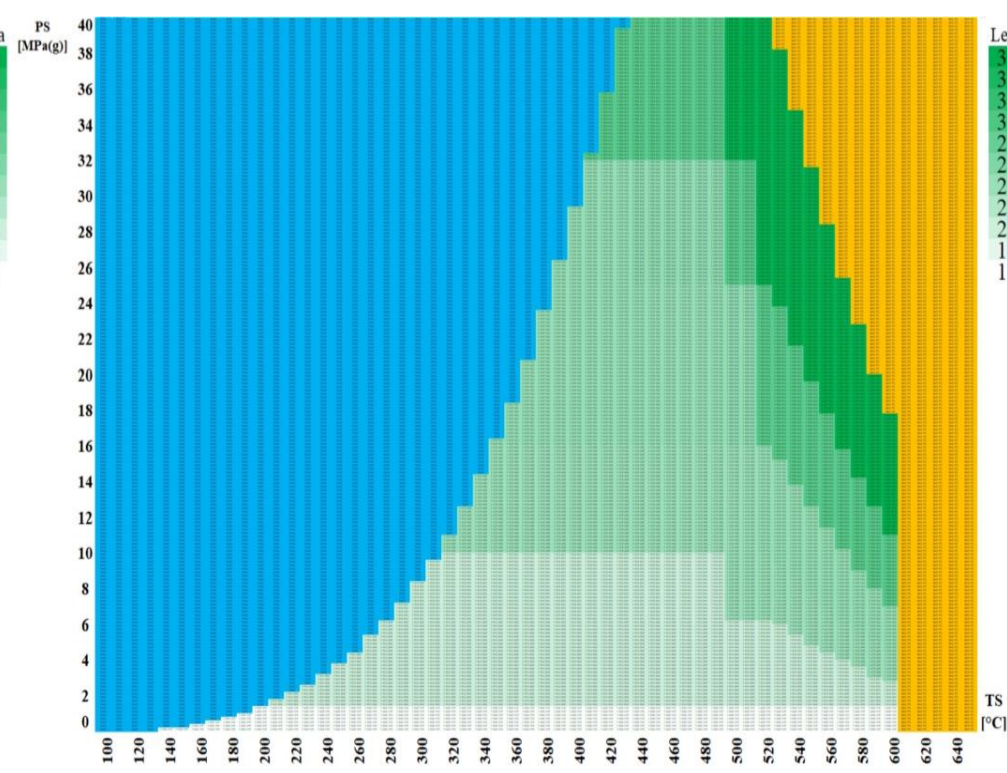
**10CrMo9-10**



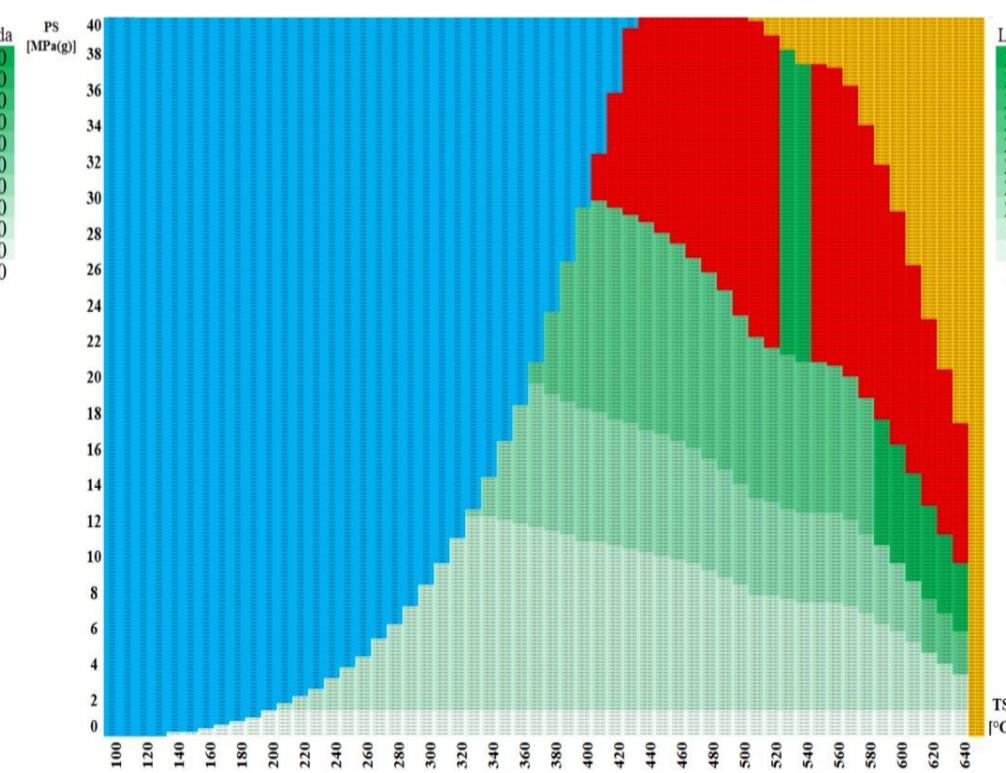
**A335 - P22**



**A335 - P11**



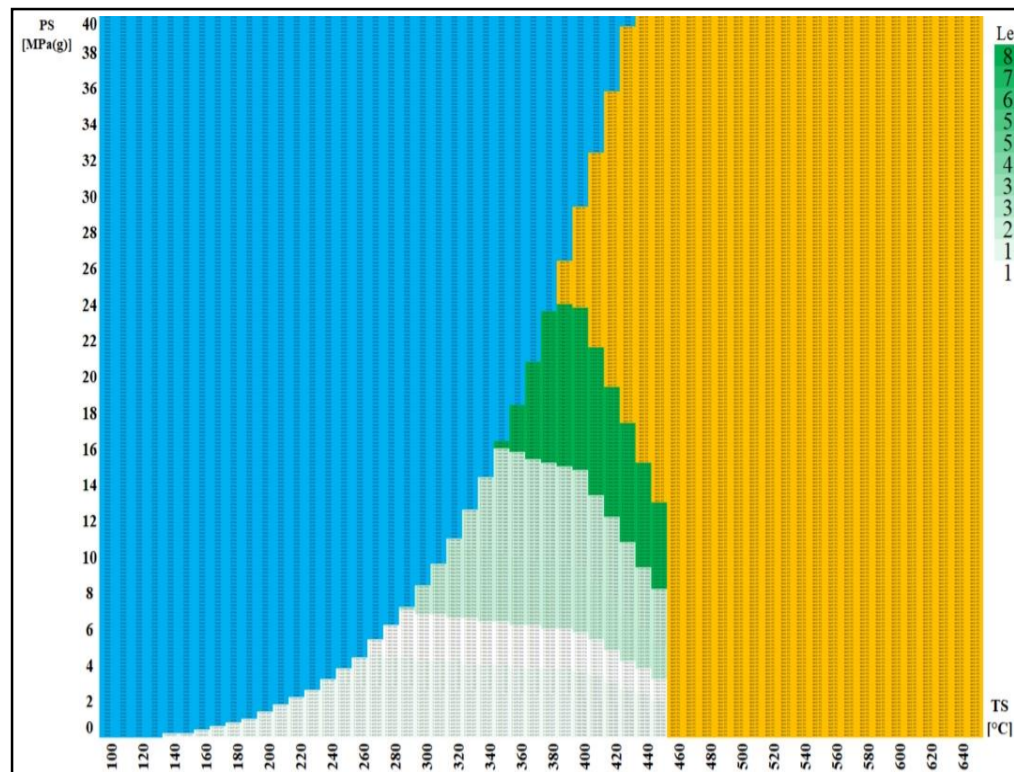
**X10CrMoVNb9-1**



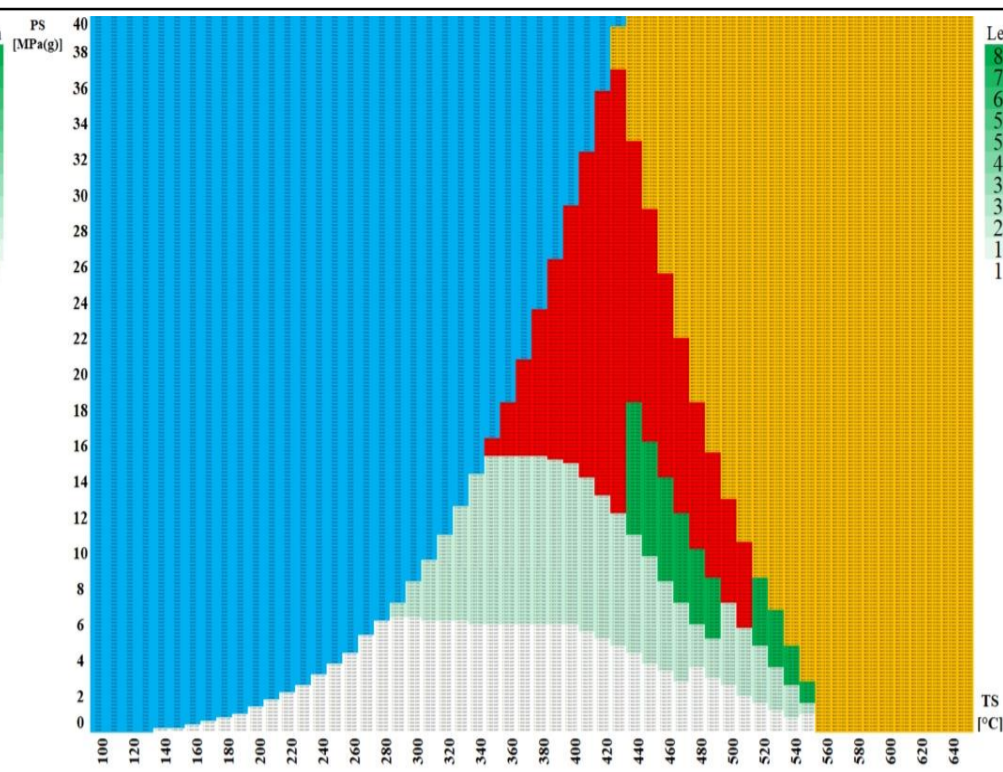
**A335 - P91**

*DN 65 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

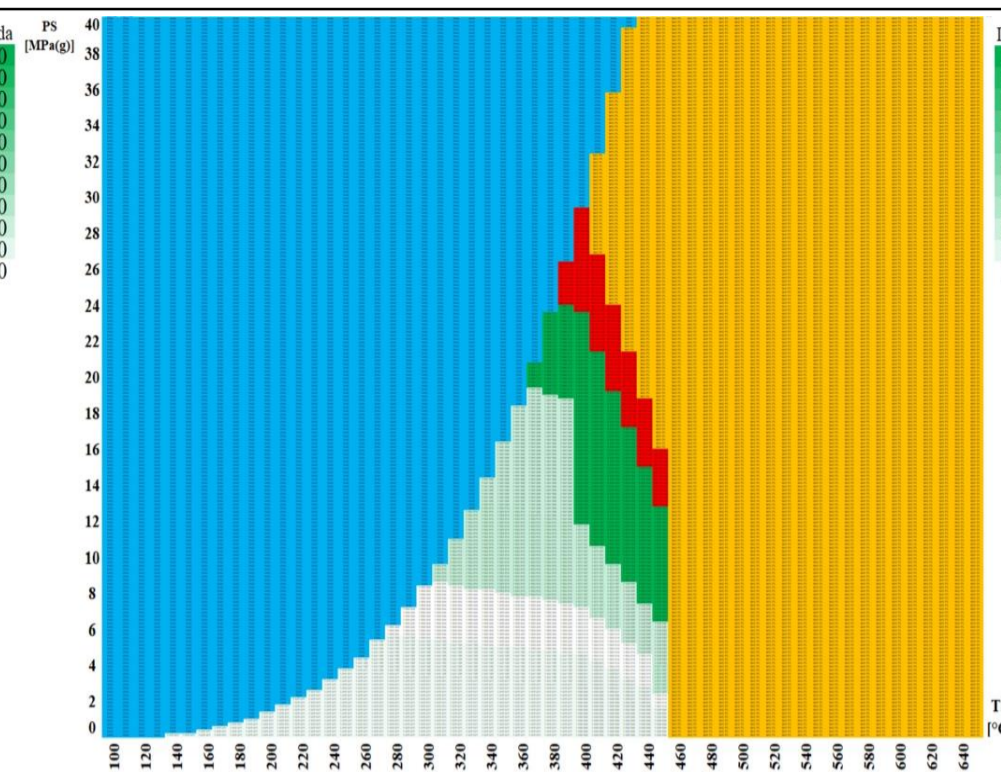
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**  
**Voda**  
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



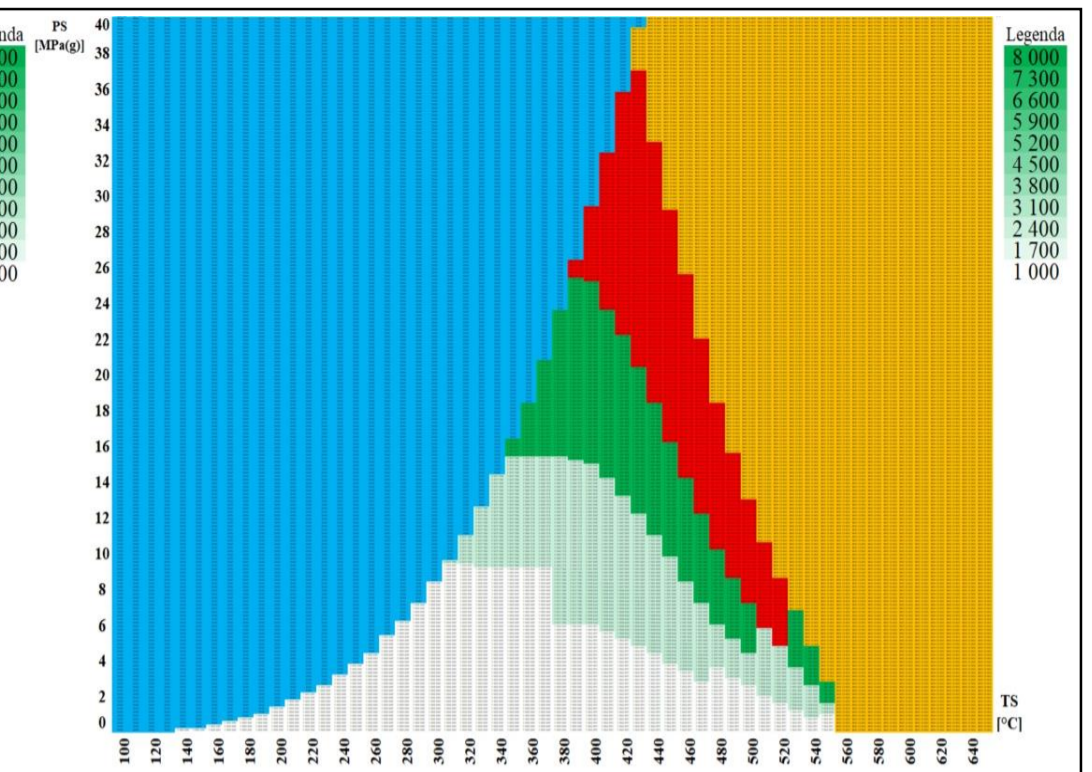
**P235GH**



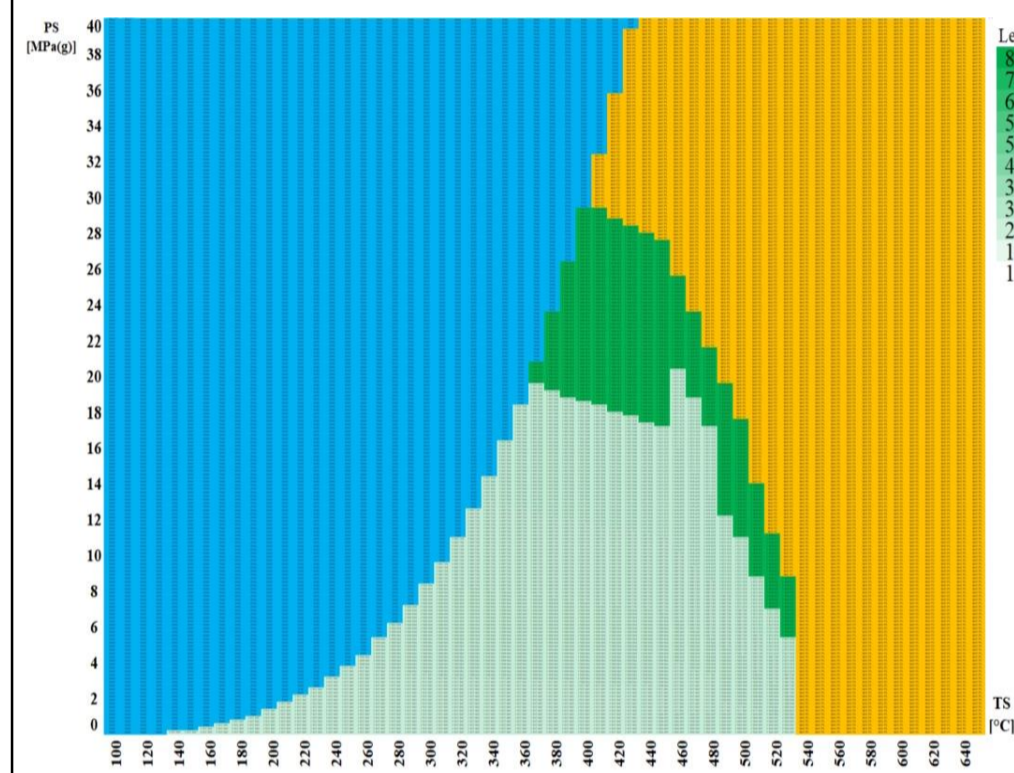
**A106-A**



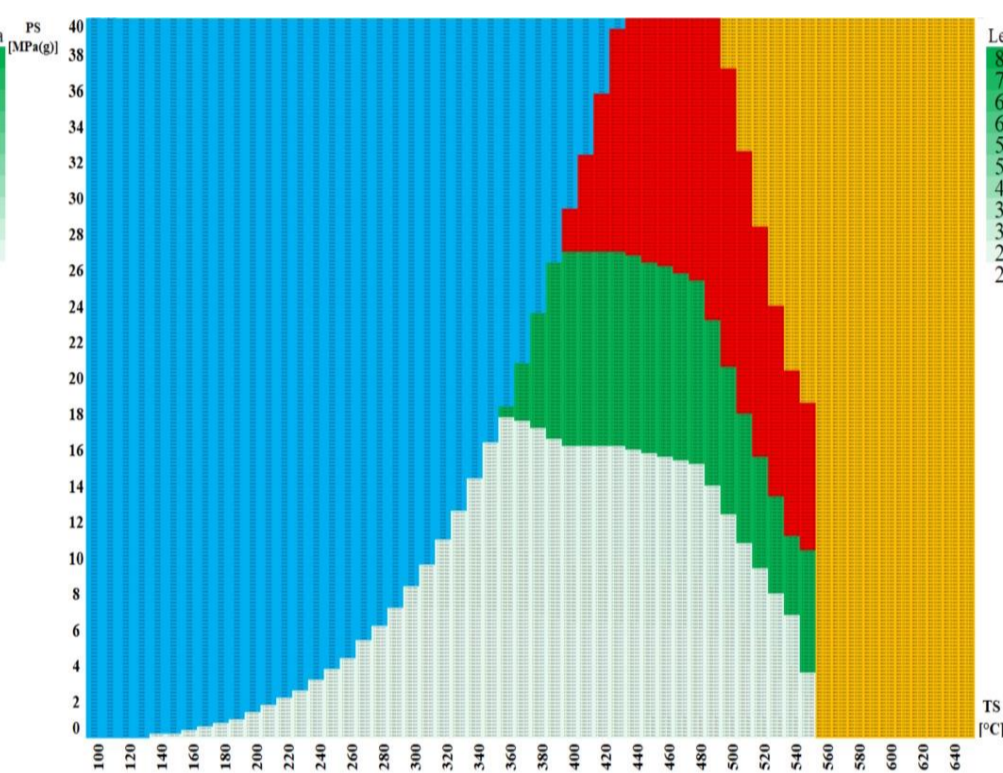
**P265GH**



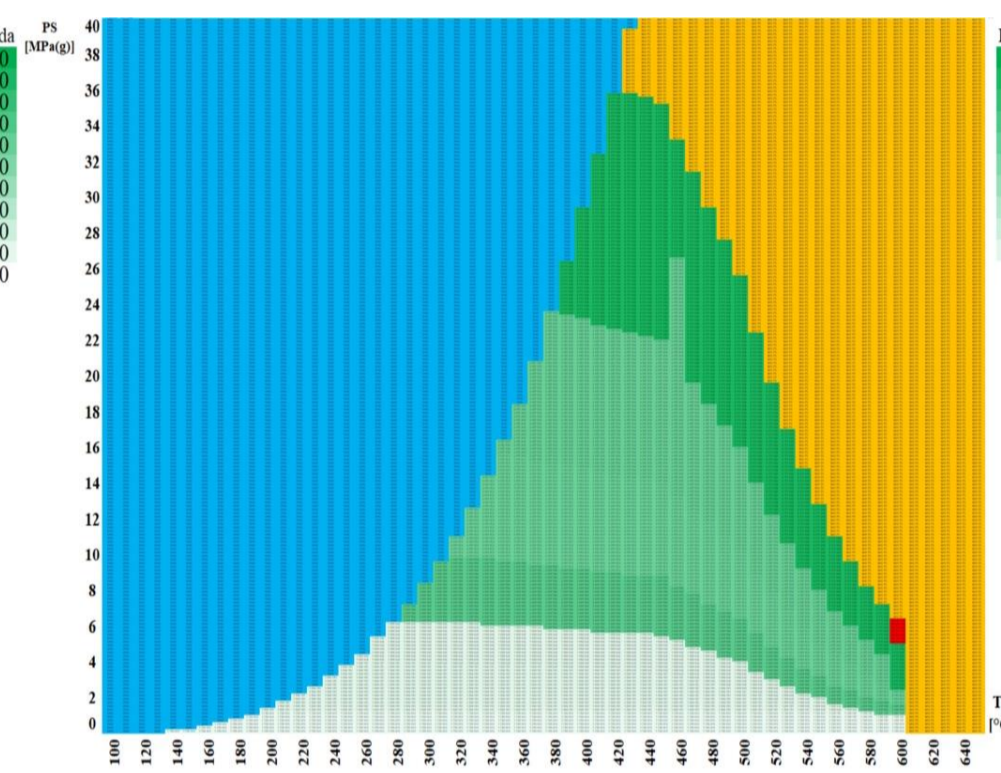
**A106-B**



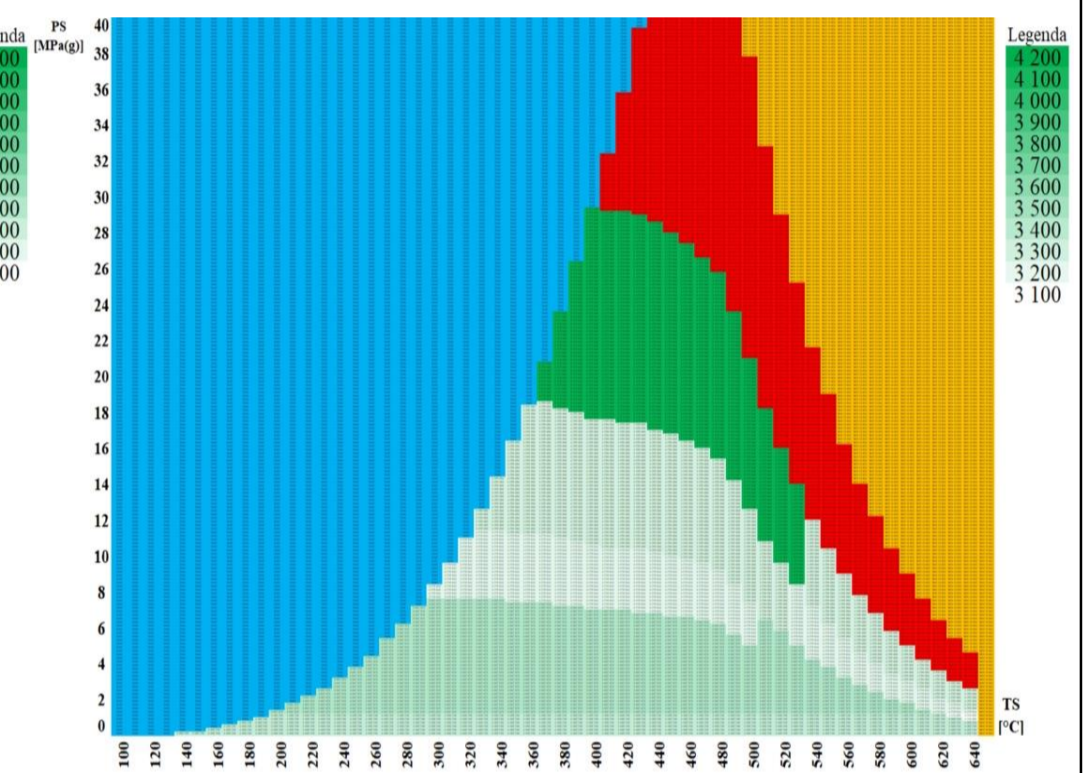
**16Mo3**



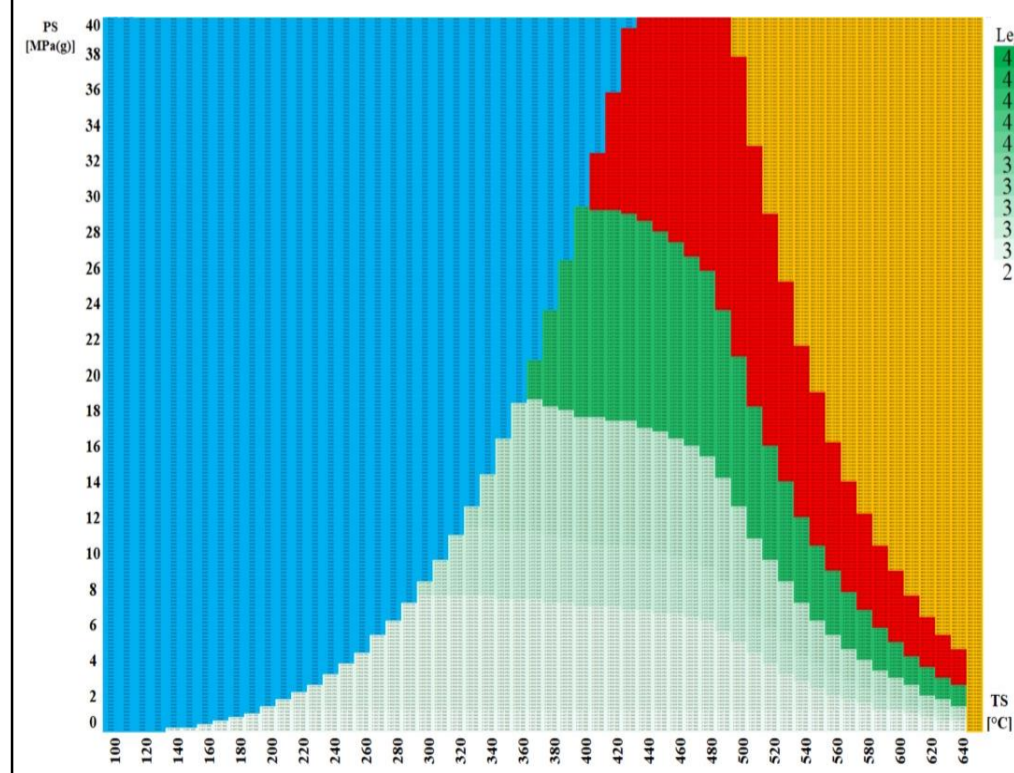
**A335-P1**



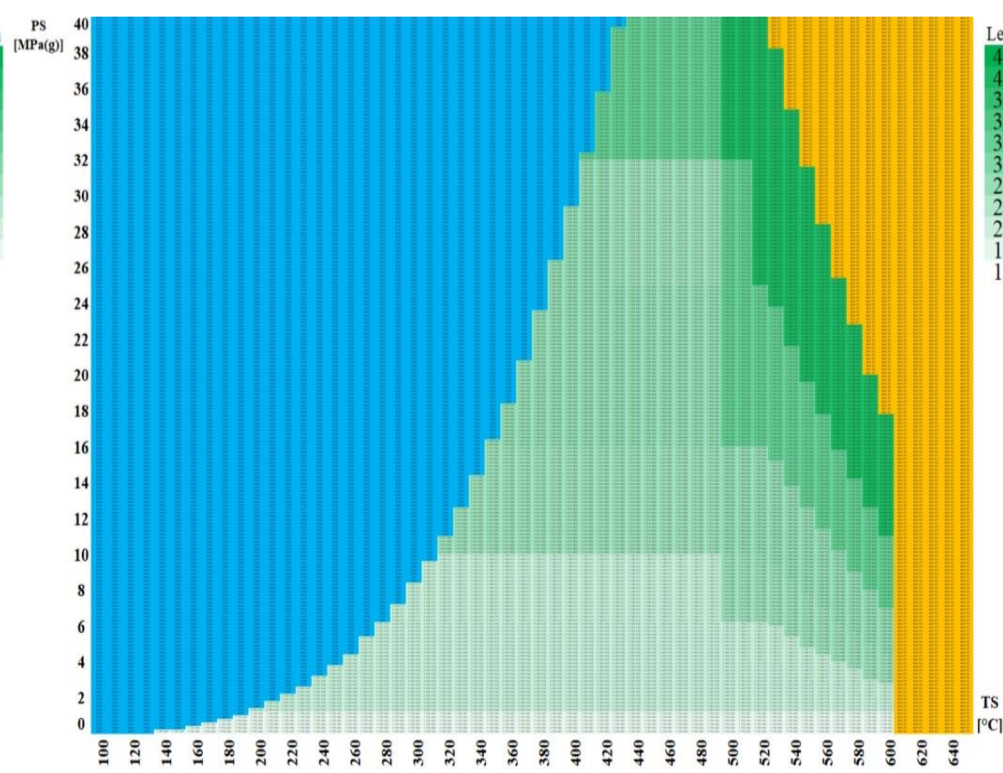
**10CrMo9-10**



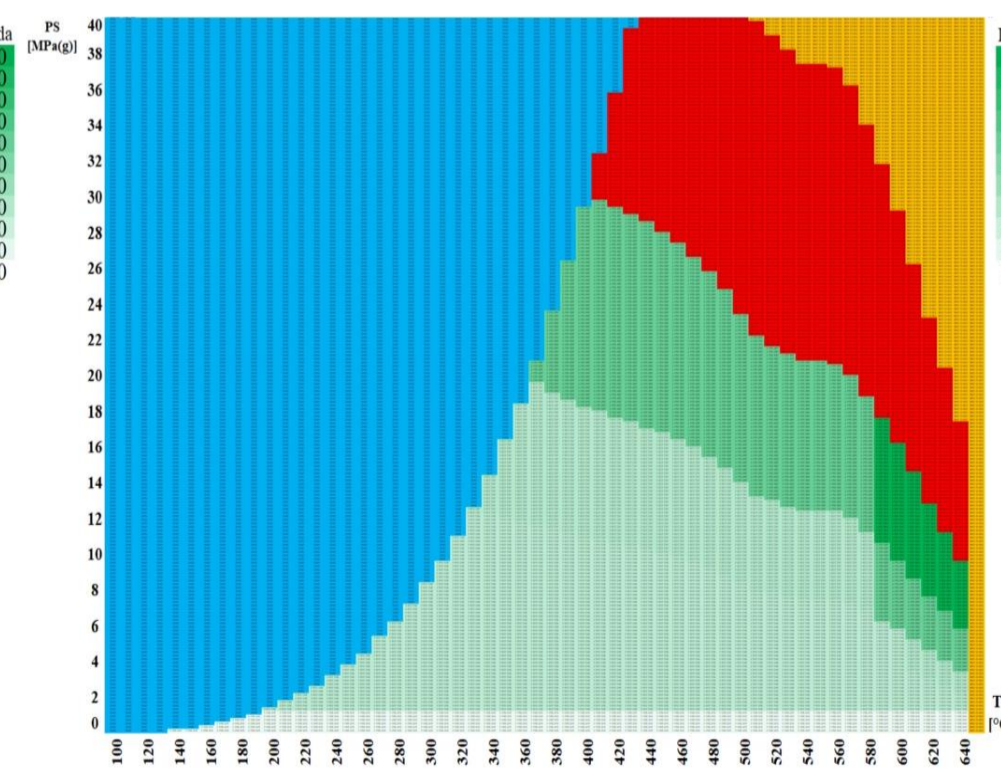
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



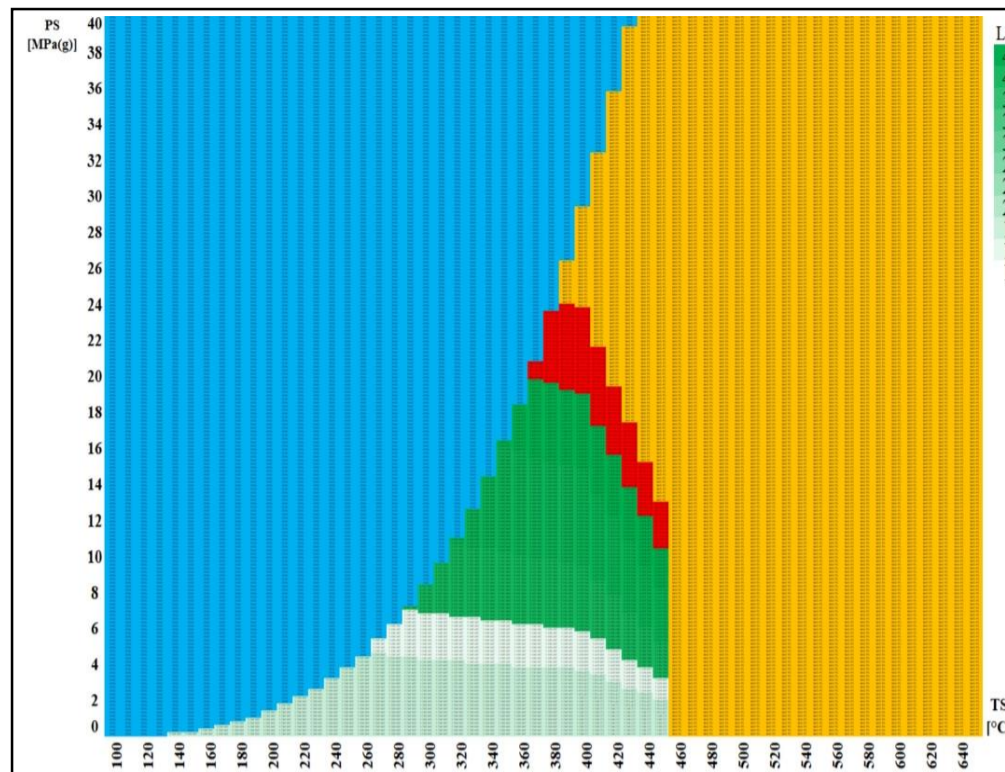
**A335 – P91**

***DN 80 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]***

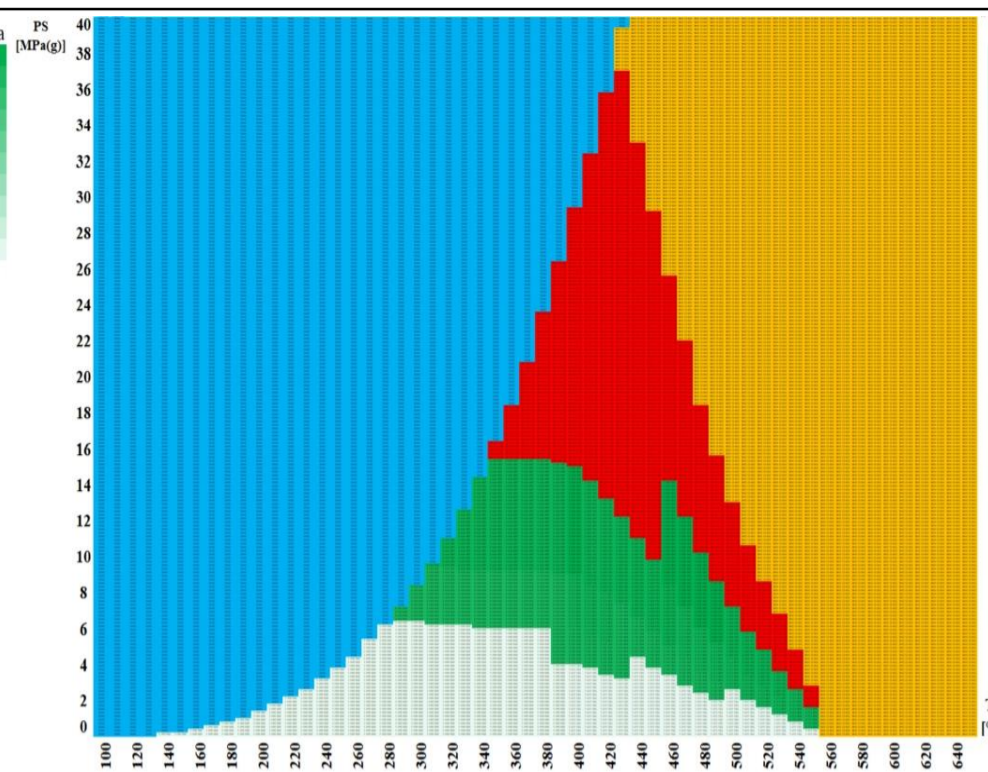
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

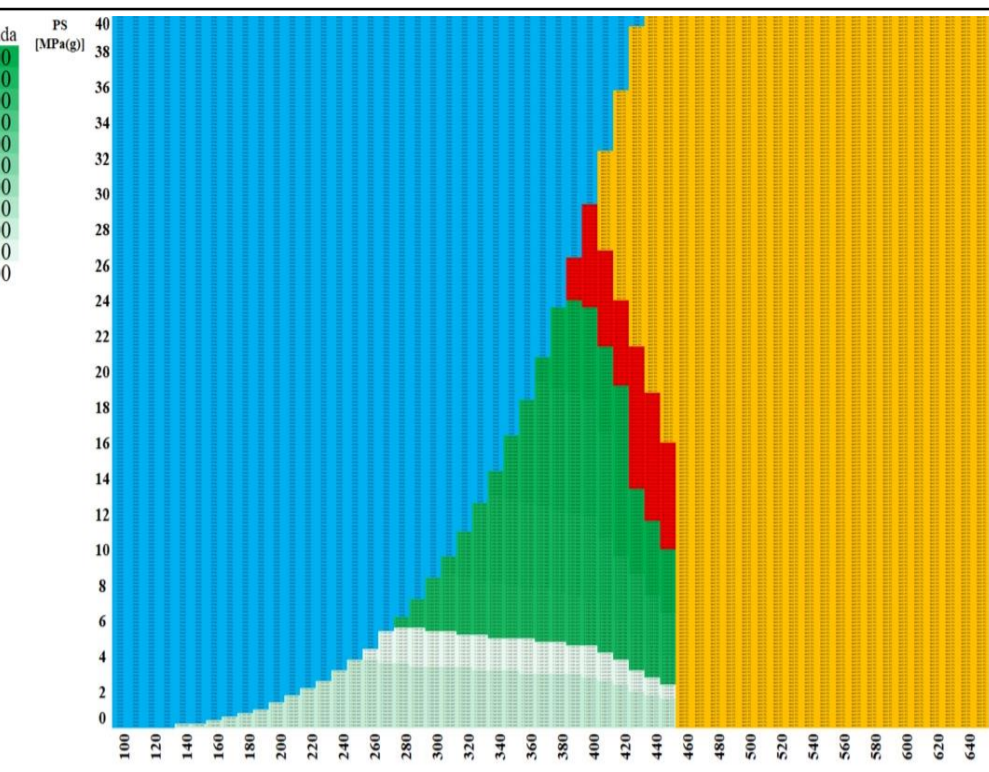
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



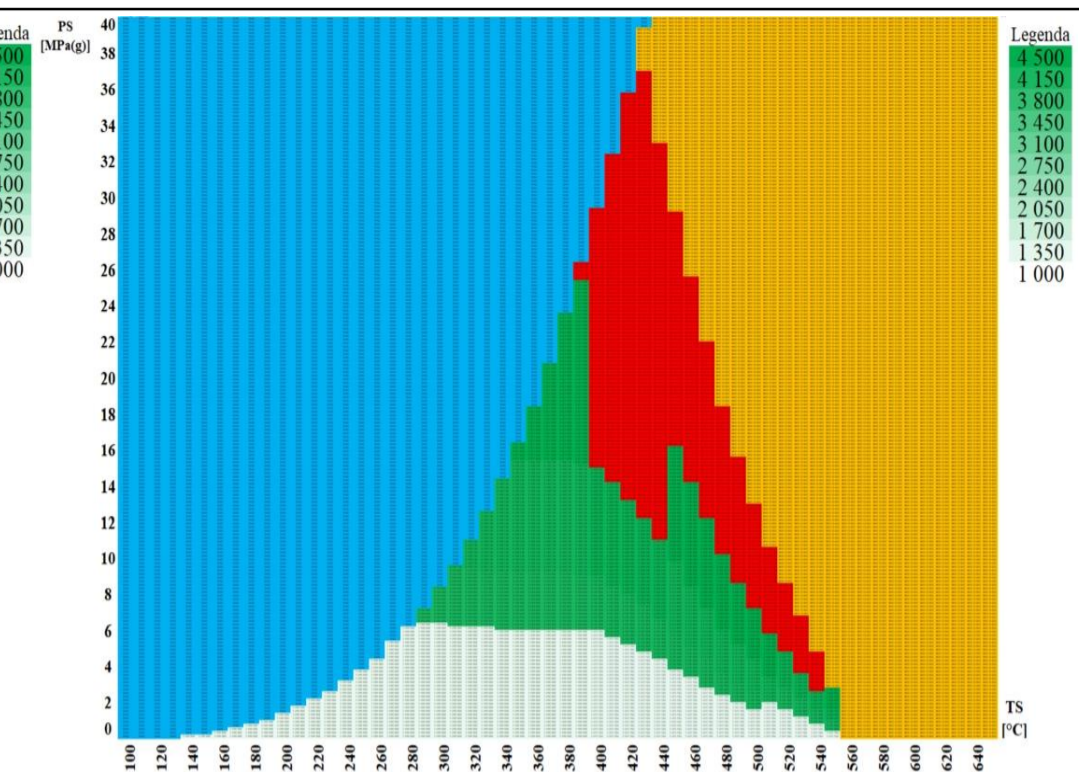
**P235GH**



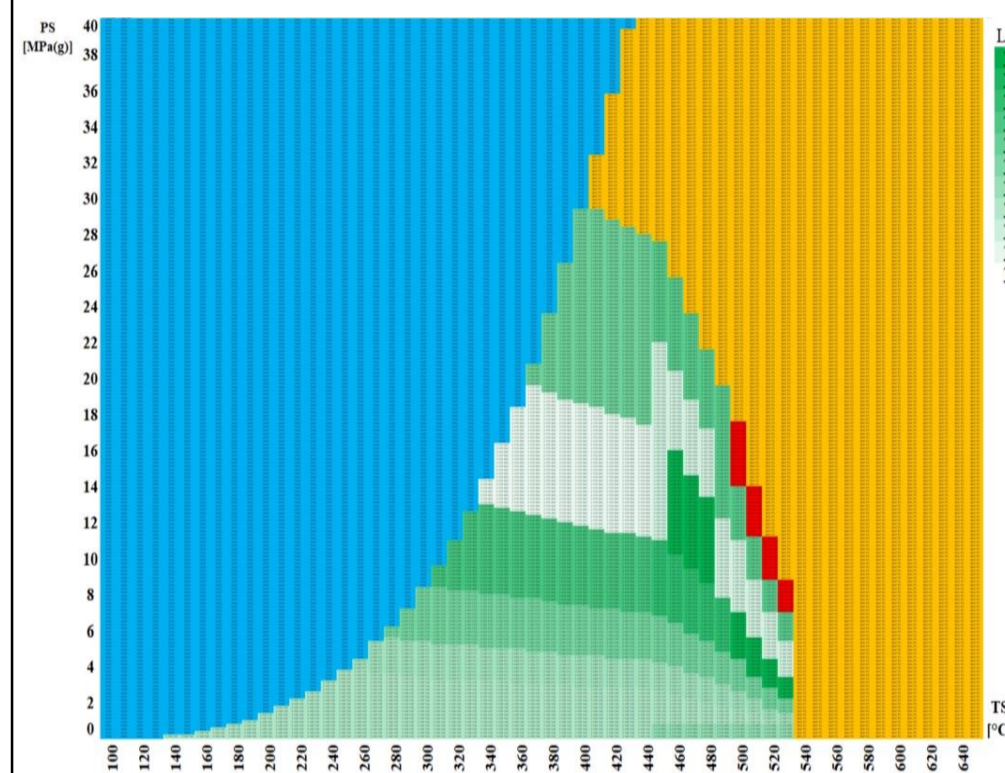
**A106-A**



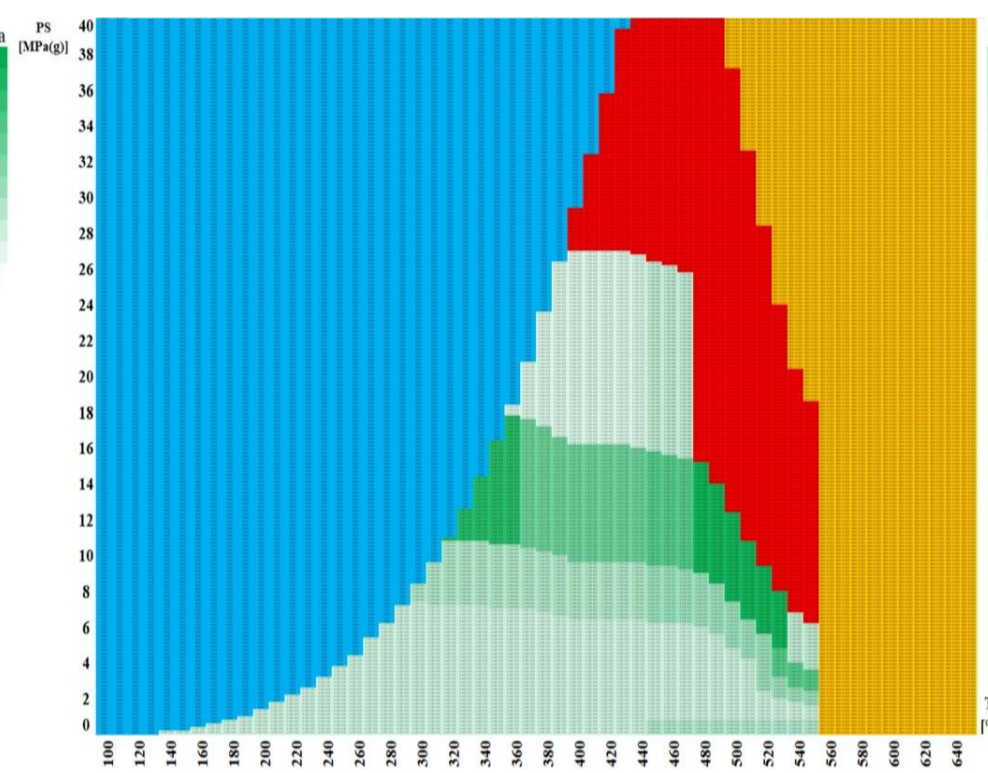
**P265GH**



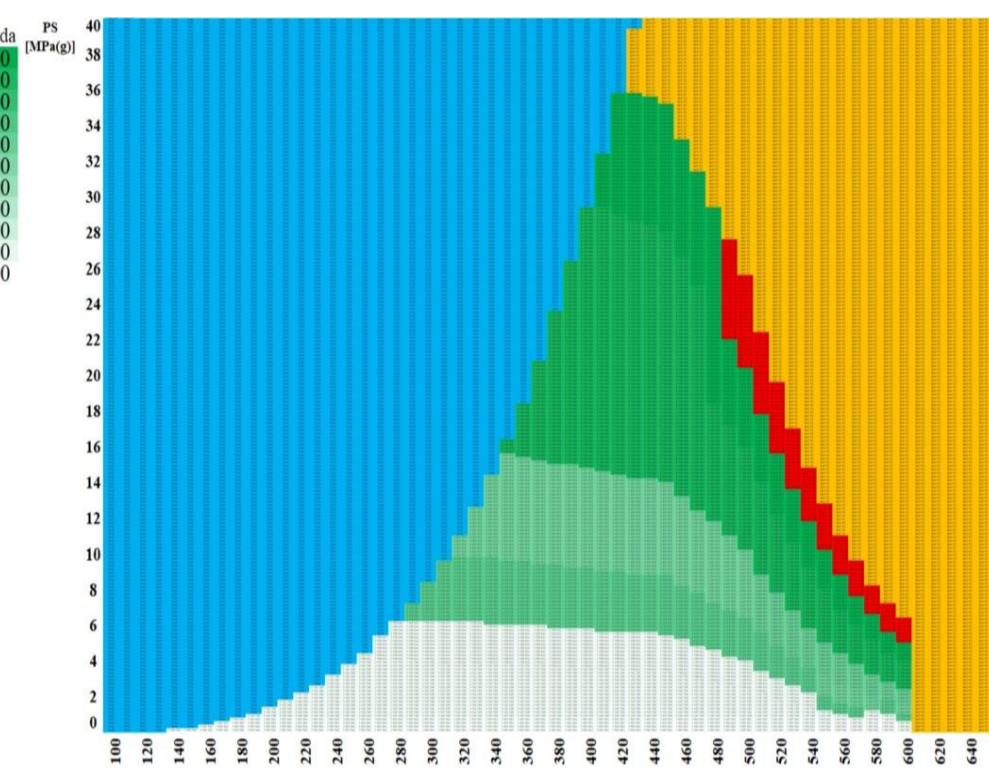
**A106-B**



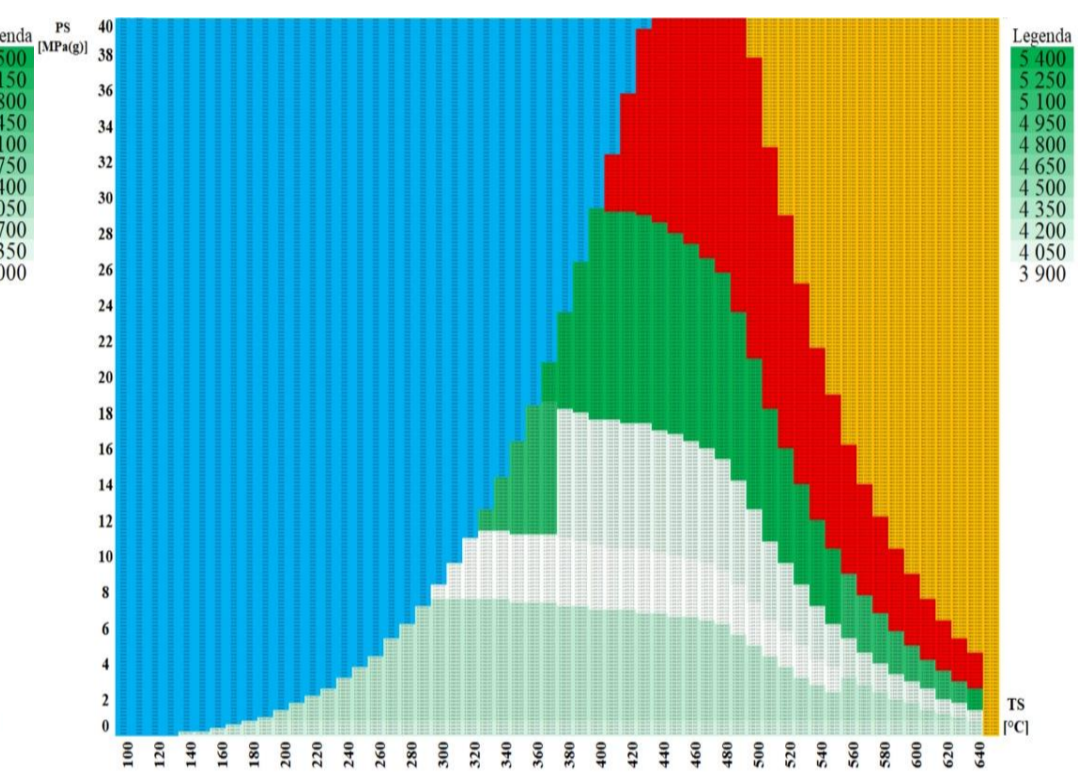
**16Mo3**



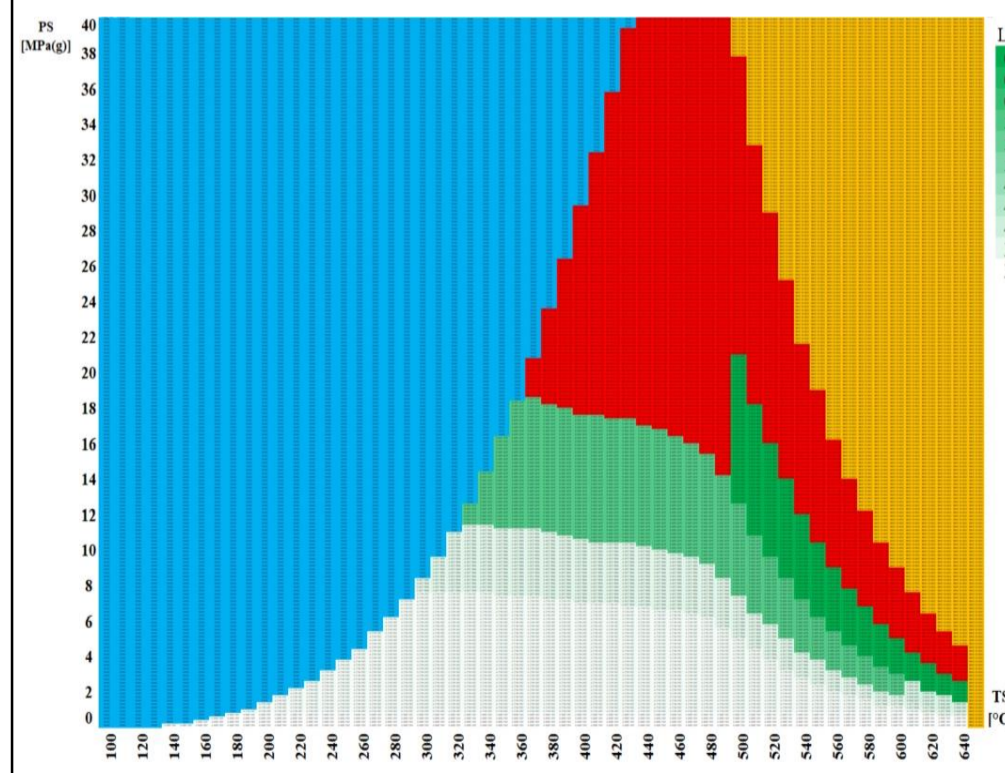
**A335-P1**



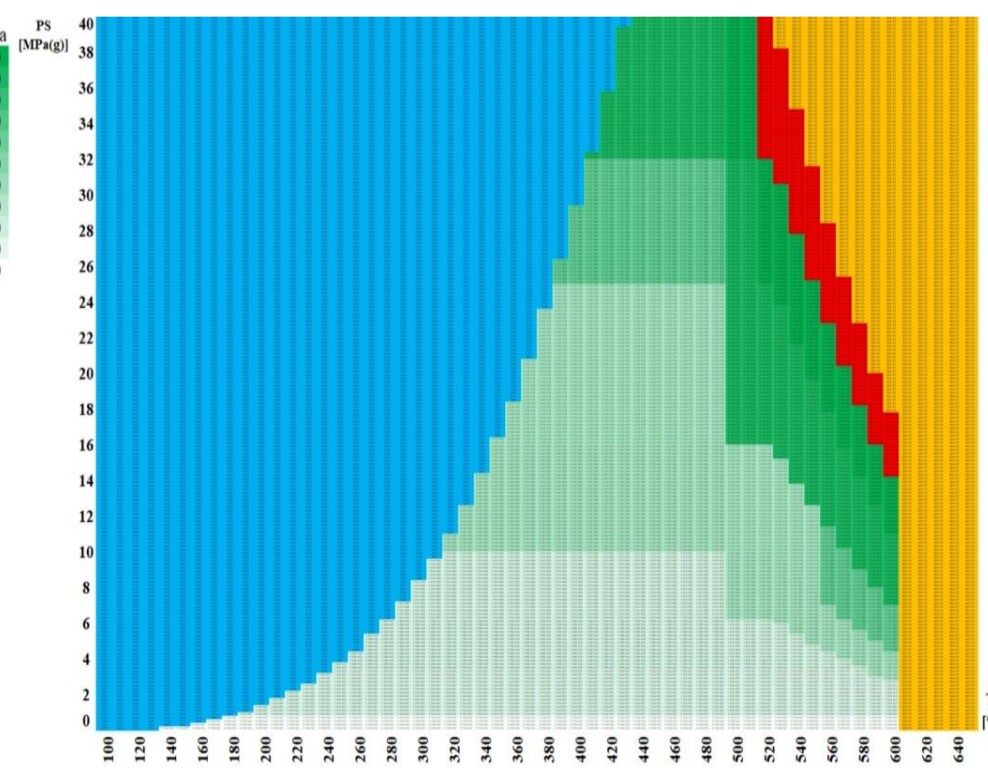
**10CrMo9-10**



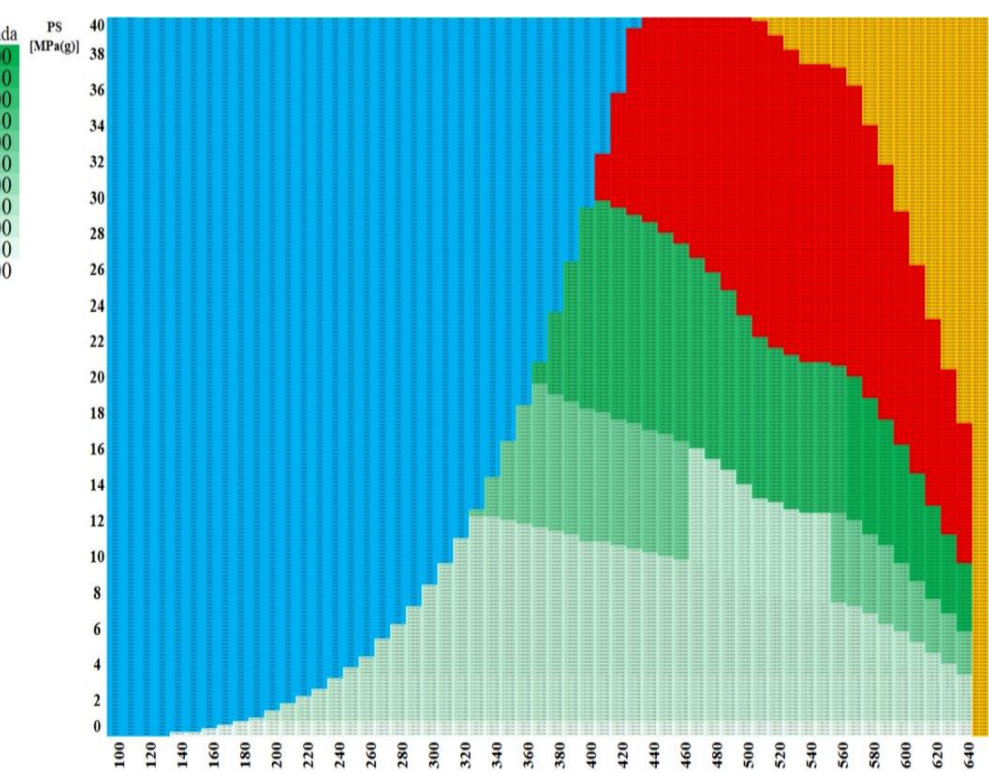
**A335 – P22**



**A335 – P11**



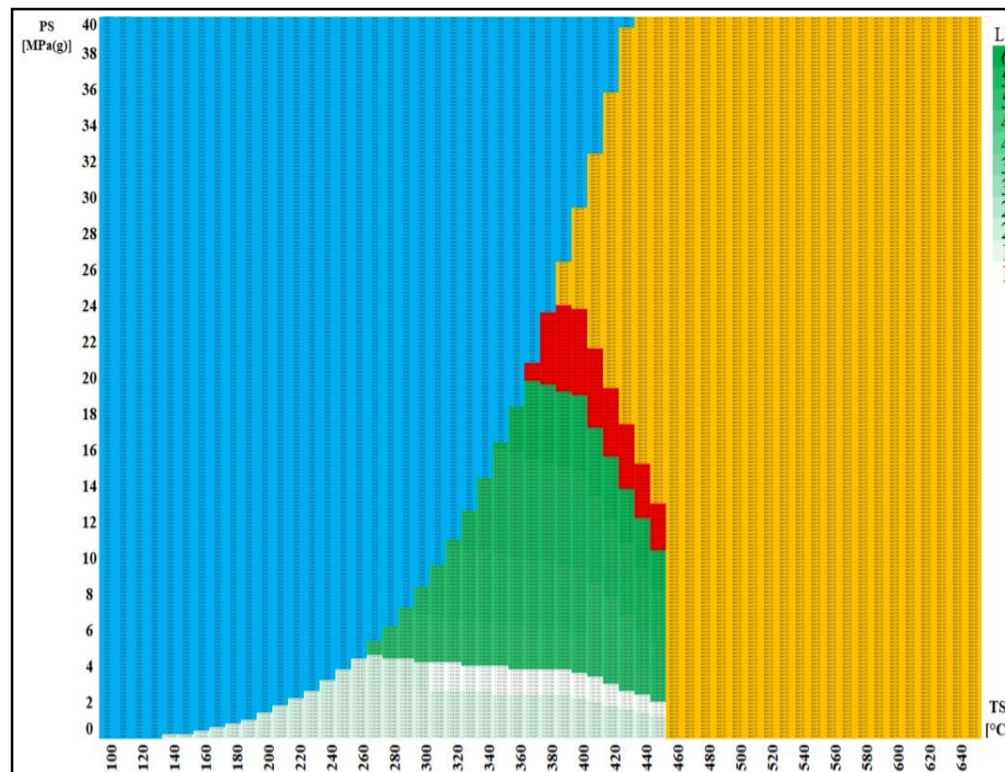
**X10CrMoVNb9-1**



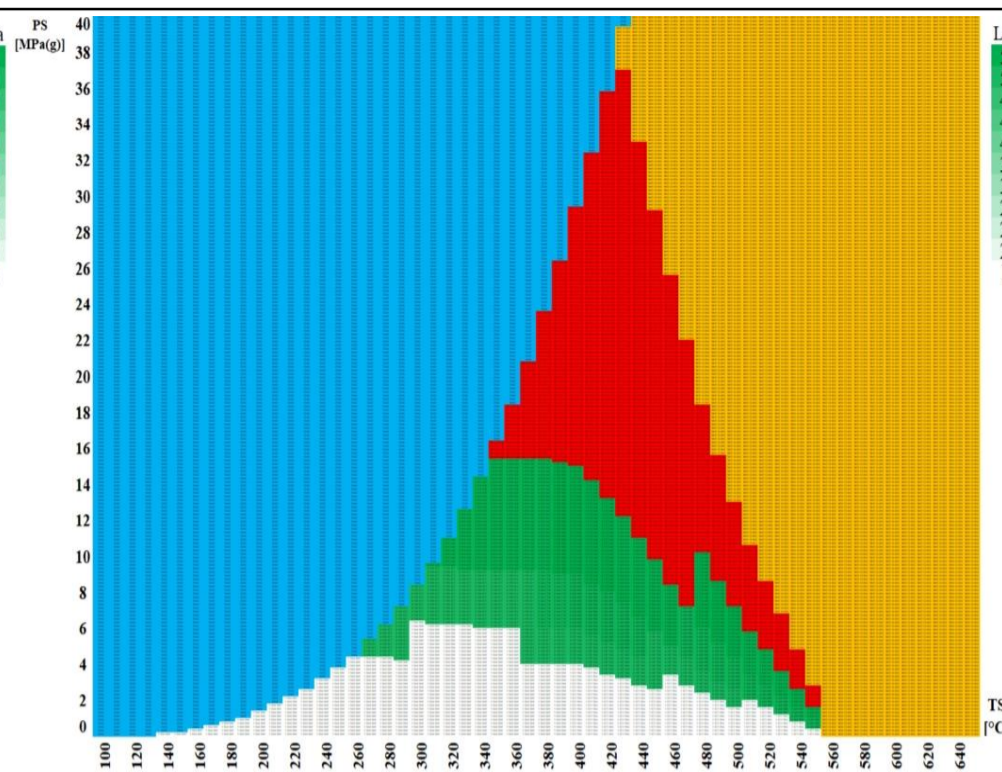
**A335 – P91**

***DN 100 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]***

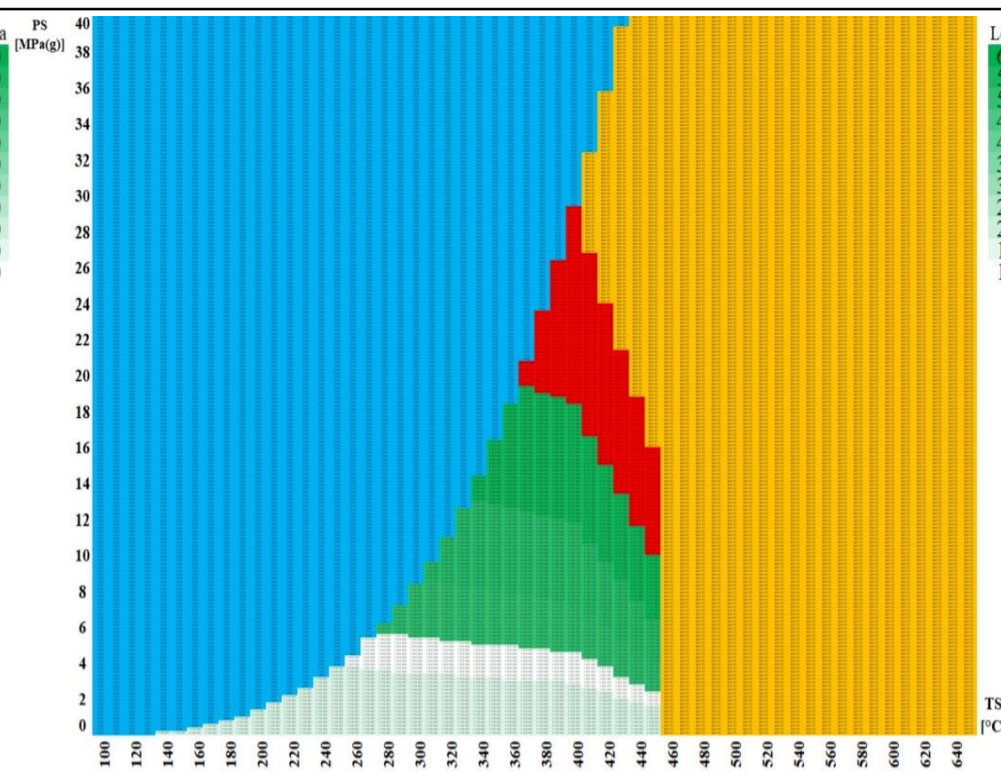
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**  
**Voda**  
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



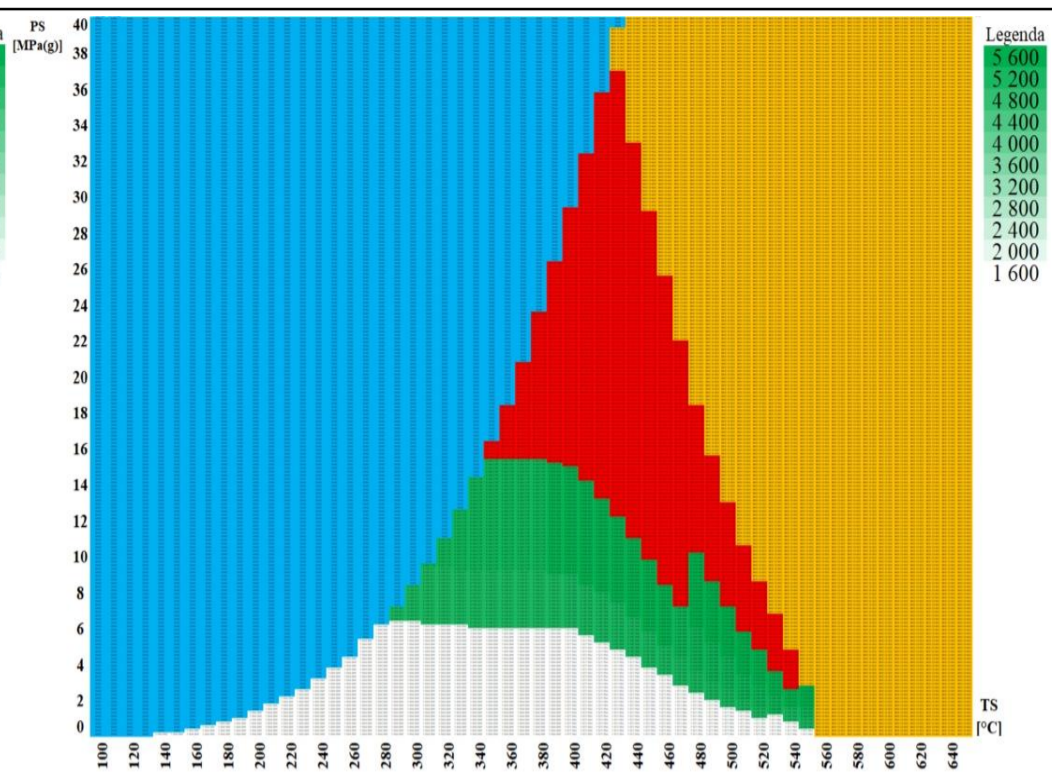
**P235GH**



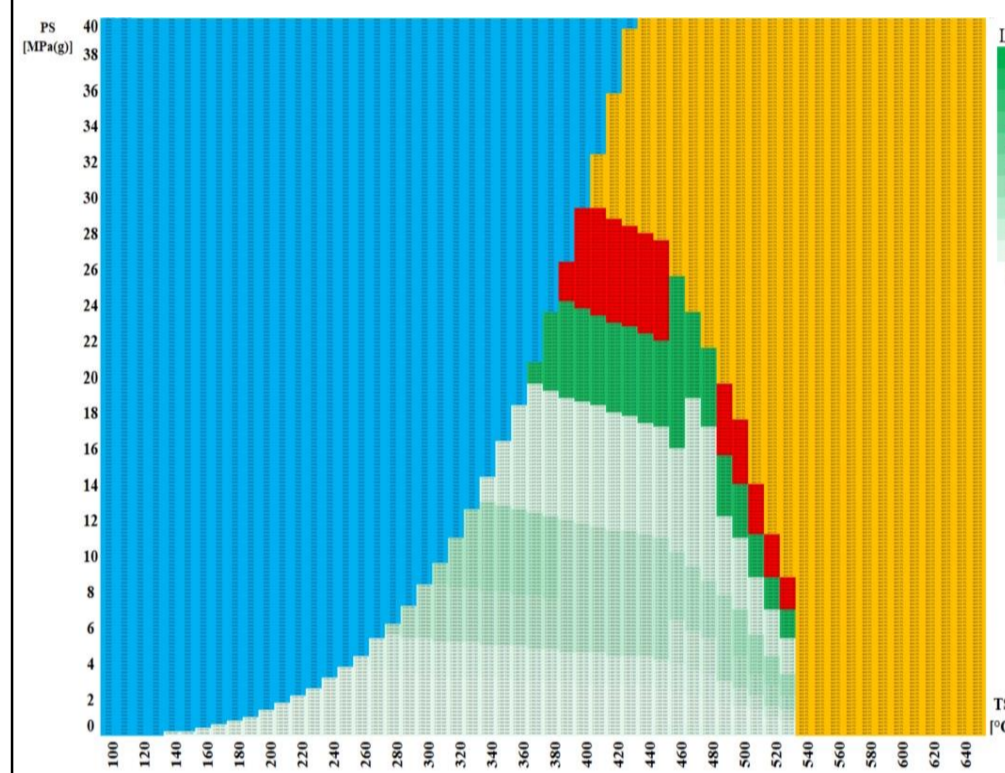
**A106-A**



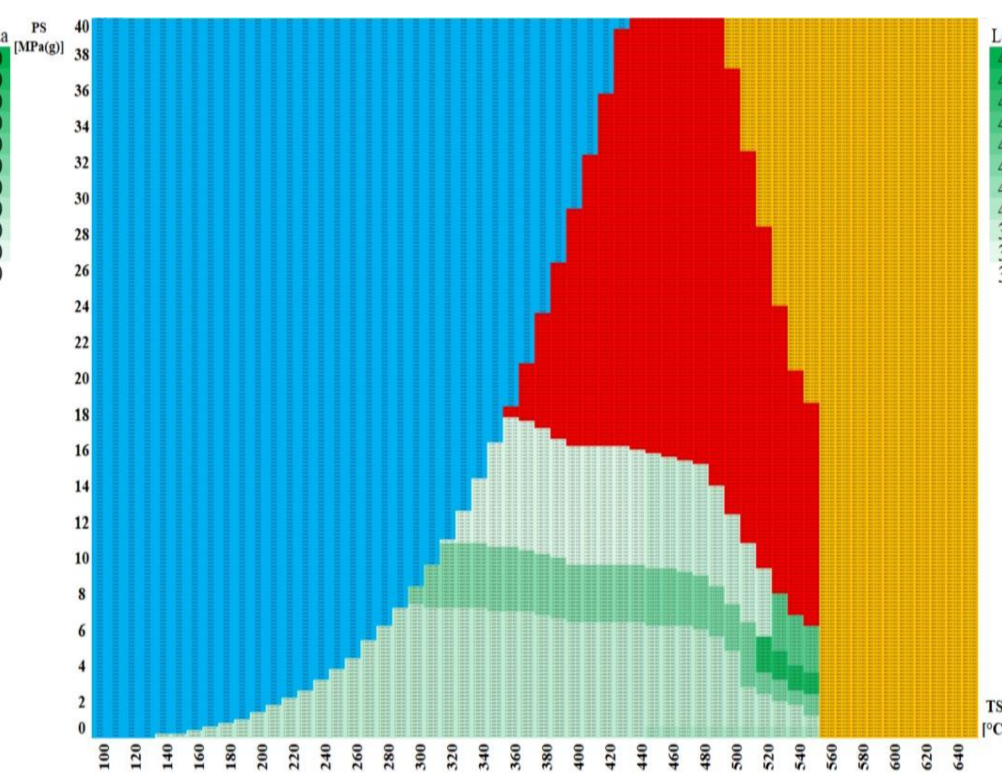
**P265GH**



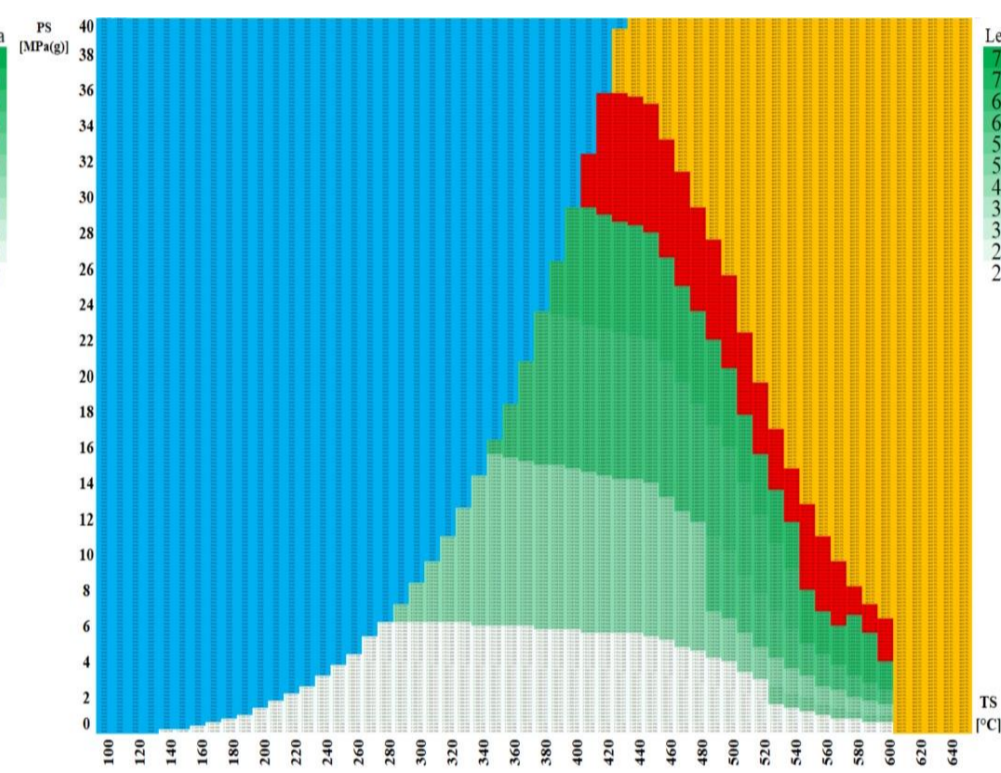
**A106-B**



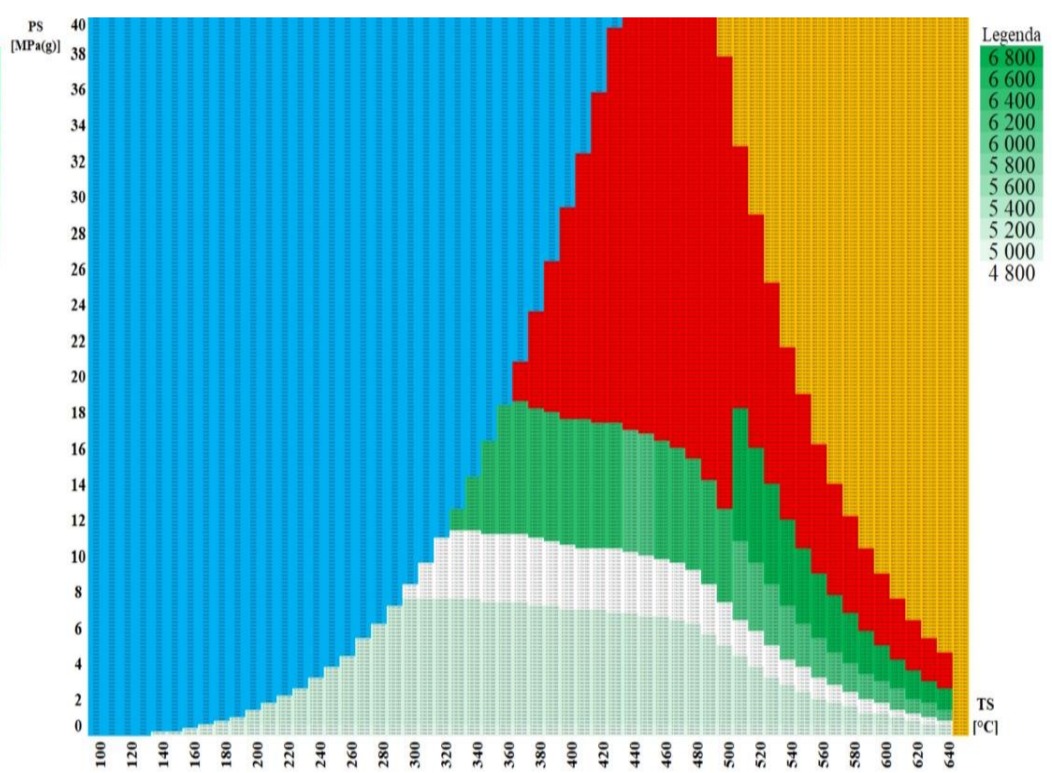
**16Mo3**



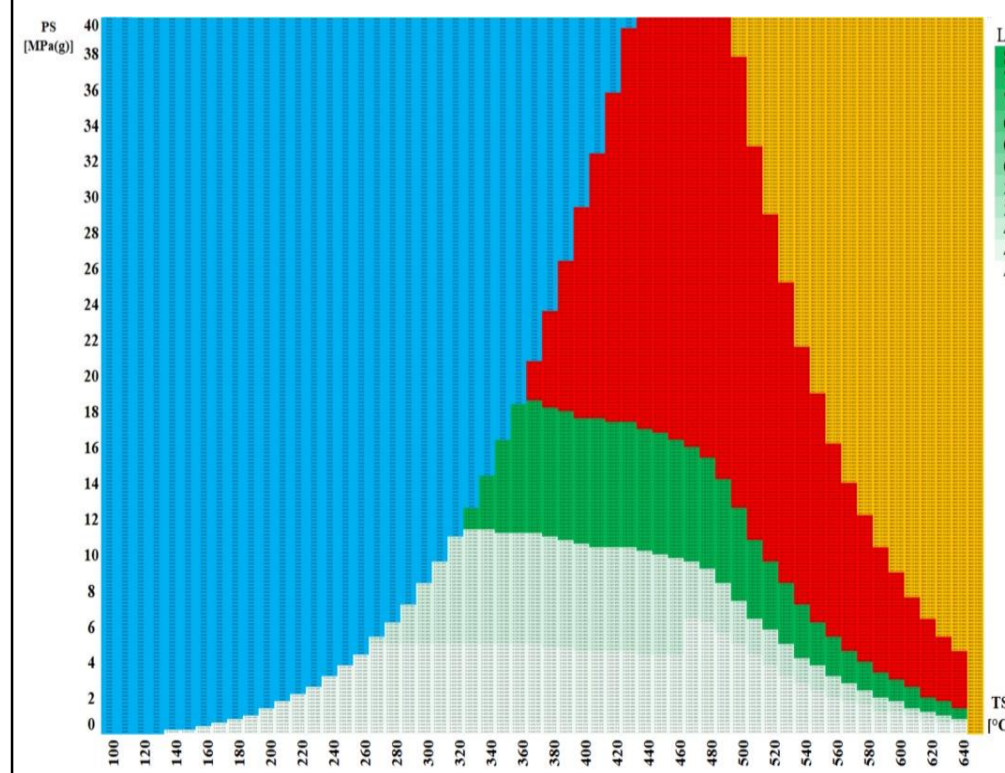
**A335-P1**



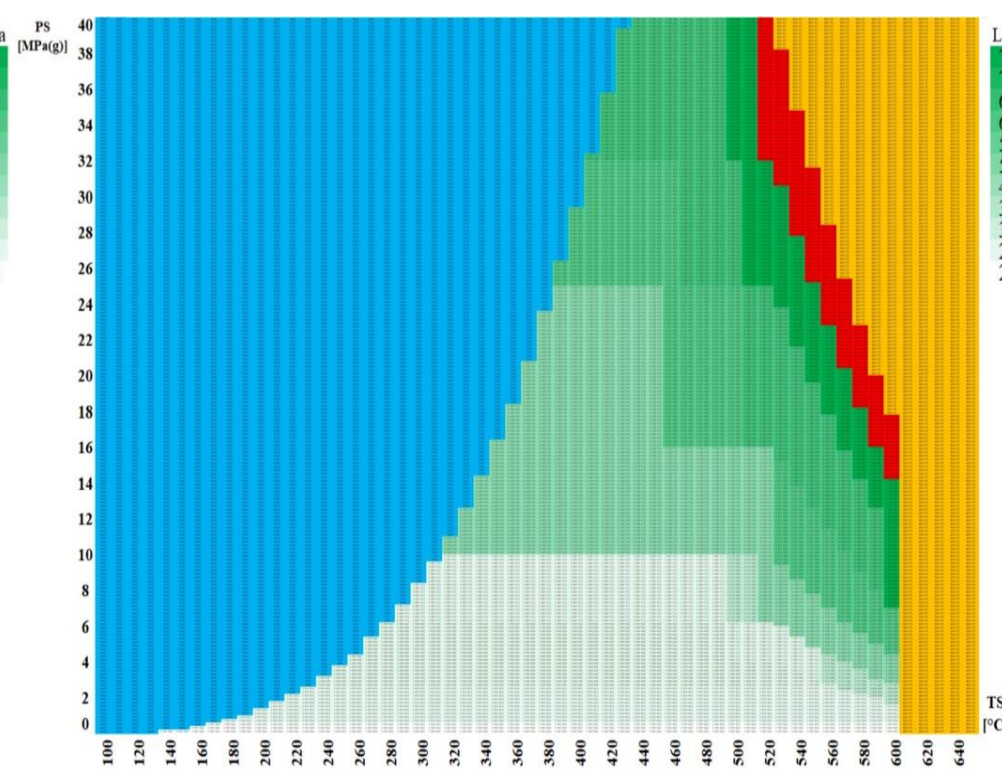
**10CrMo9-10**



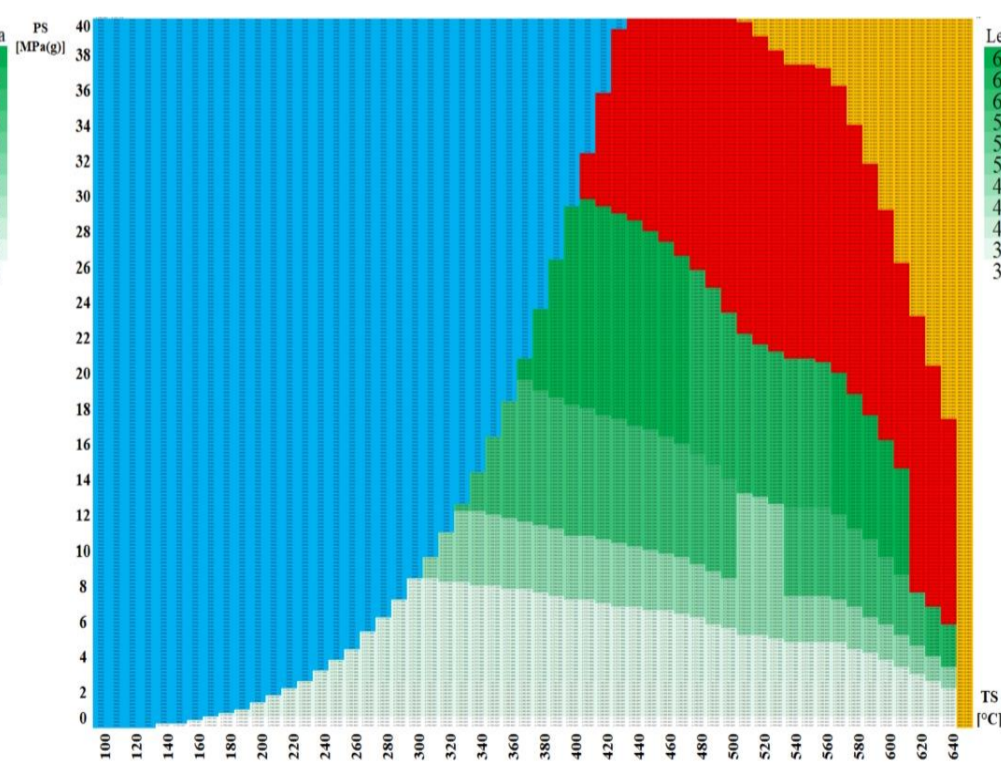
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



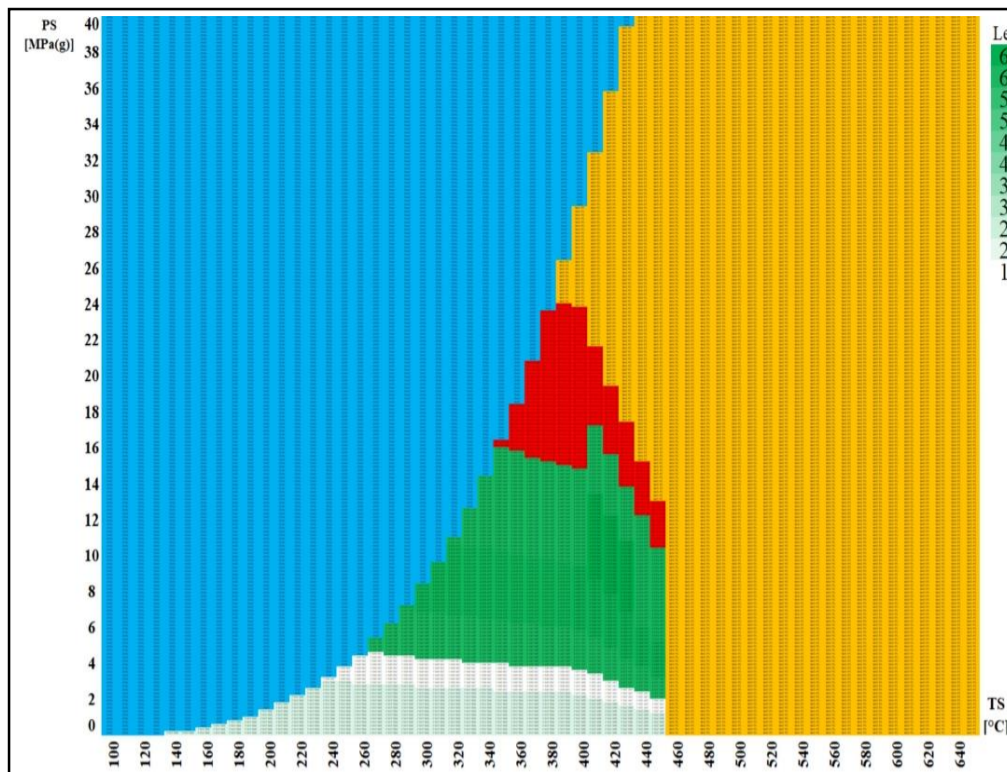
**A335 – P91**

*DN 125 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

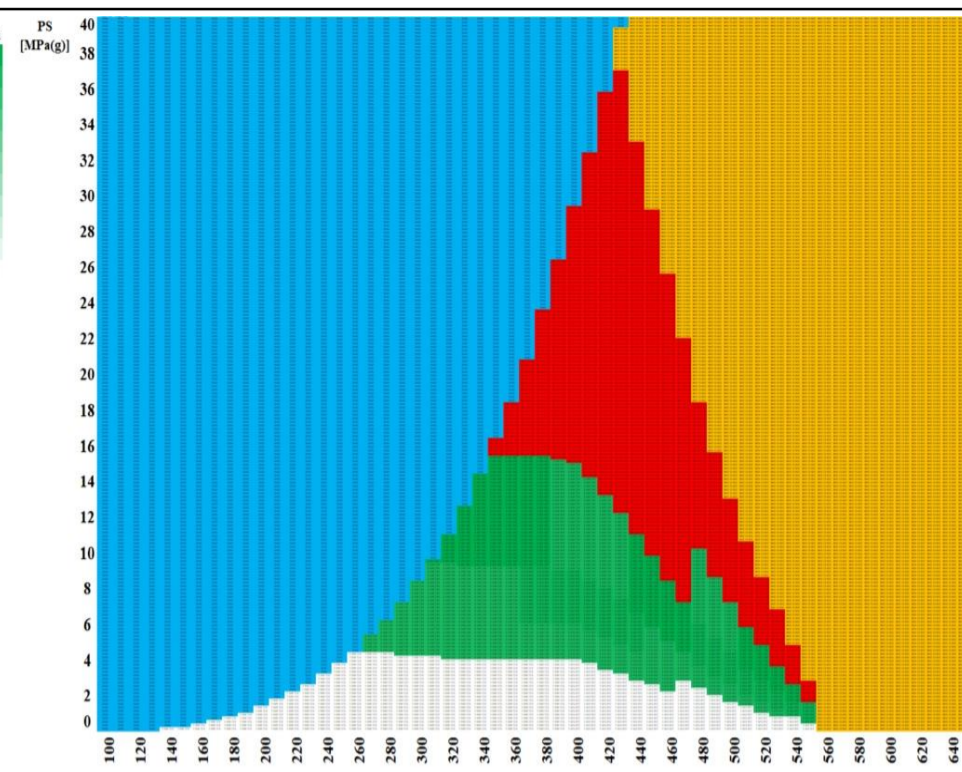
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

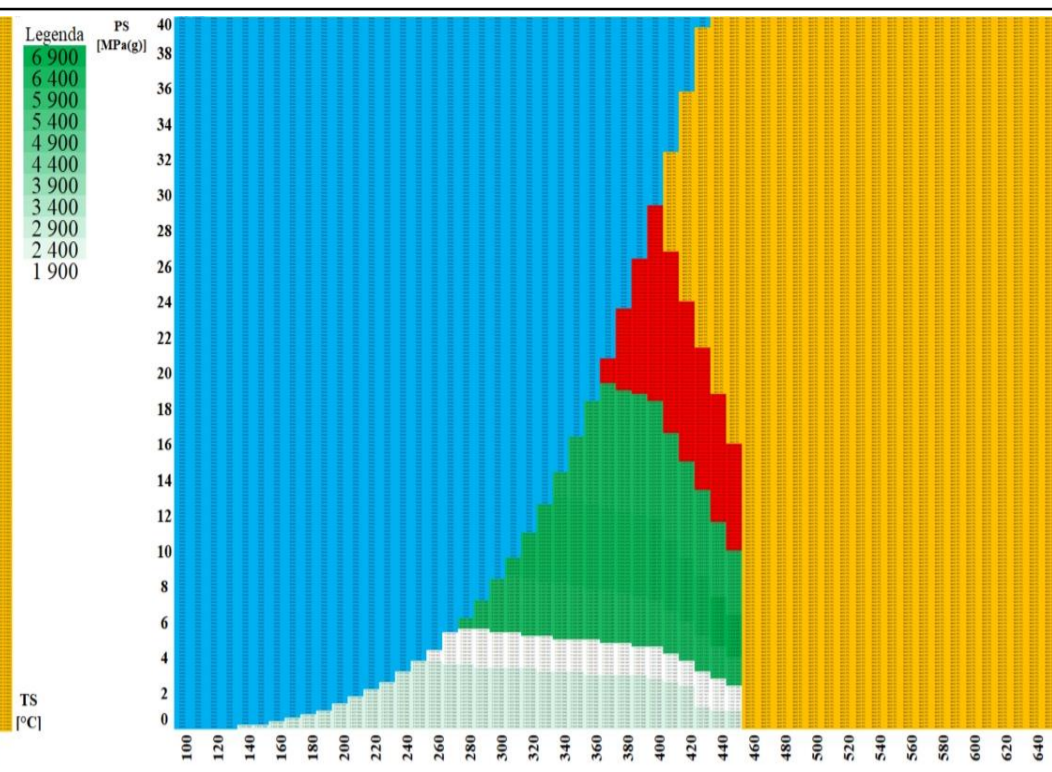
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



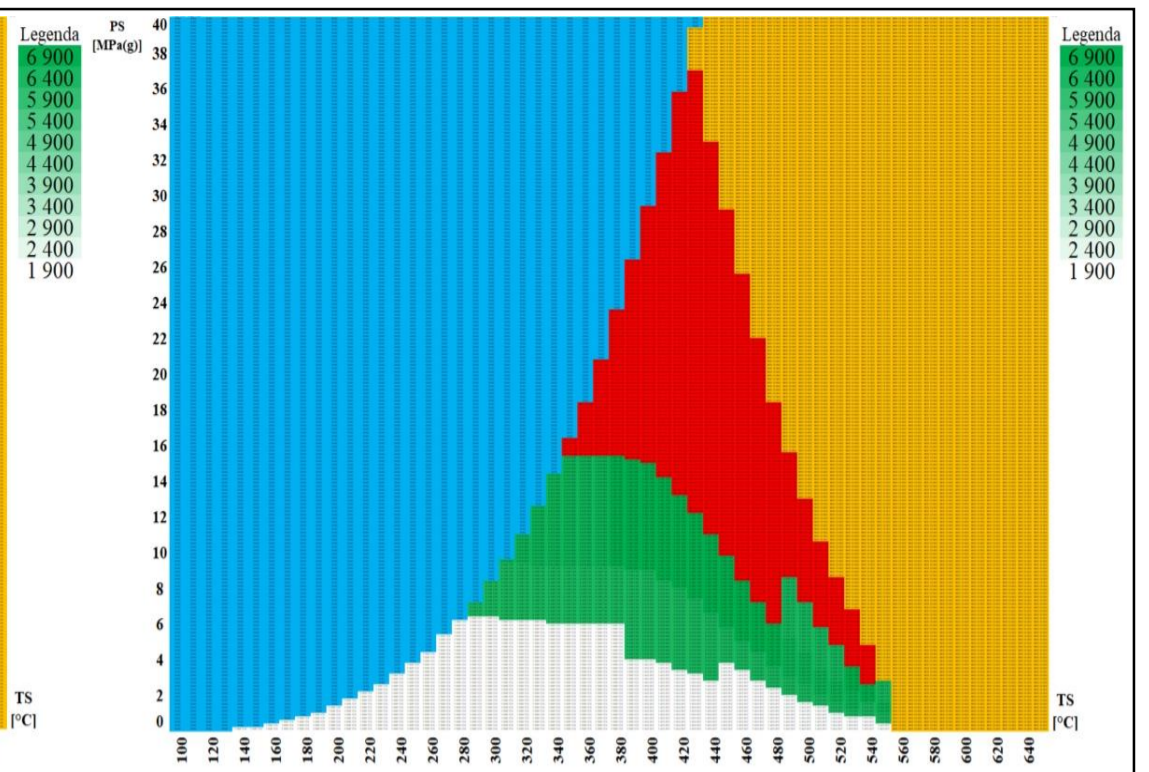
**P235GH**



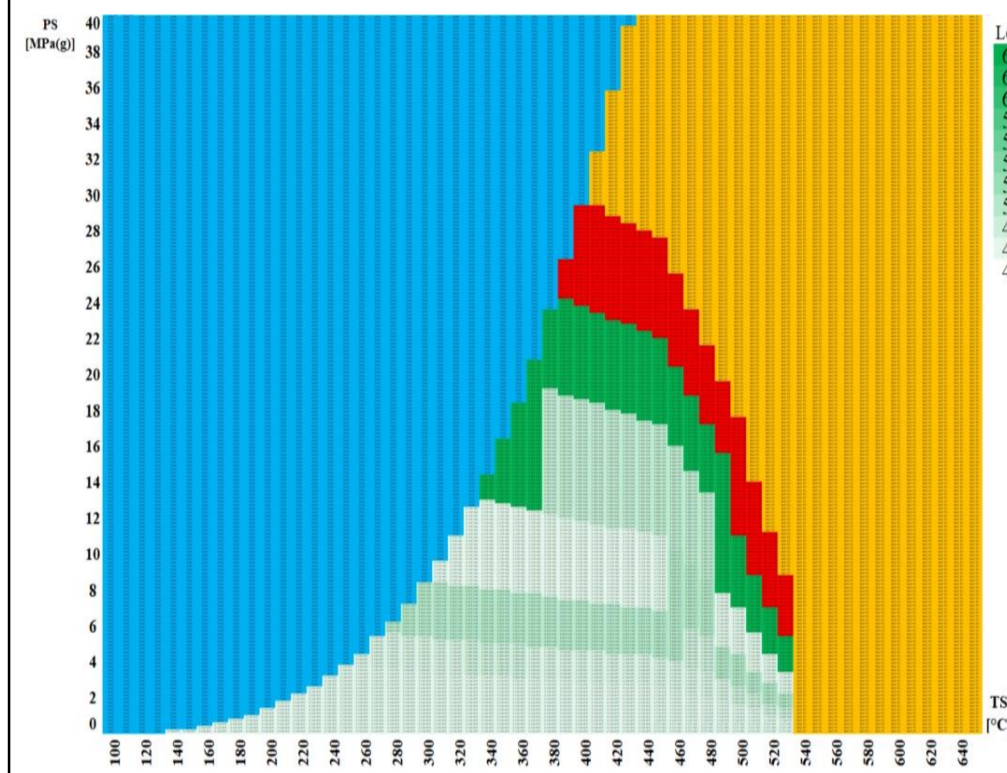
**A106-A**



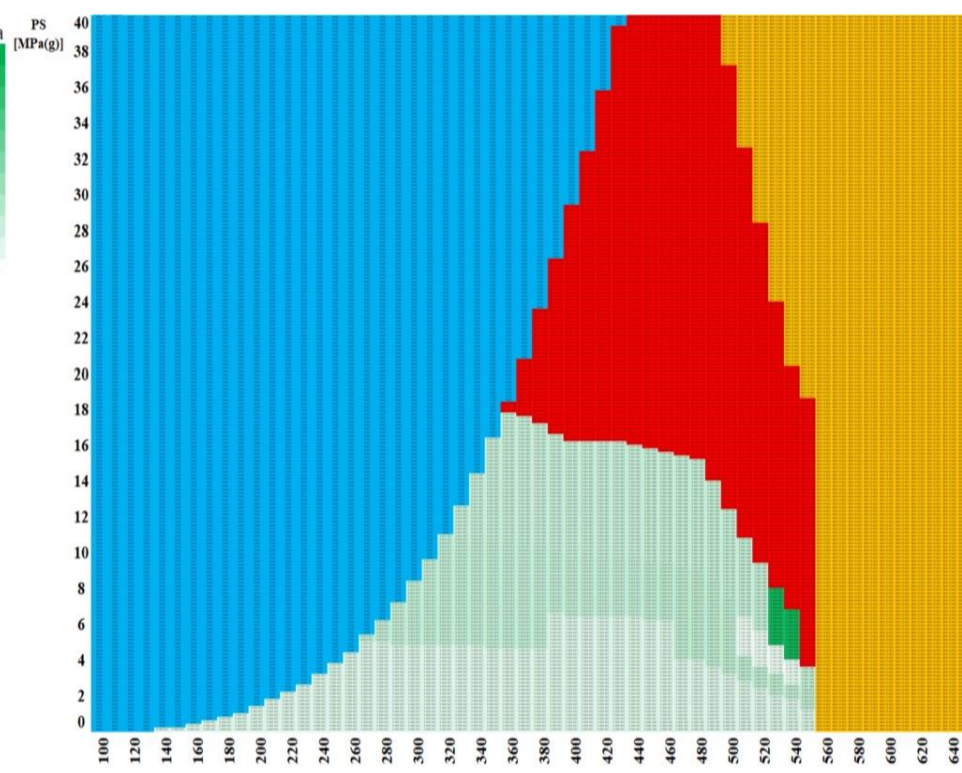
**P265GH**



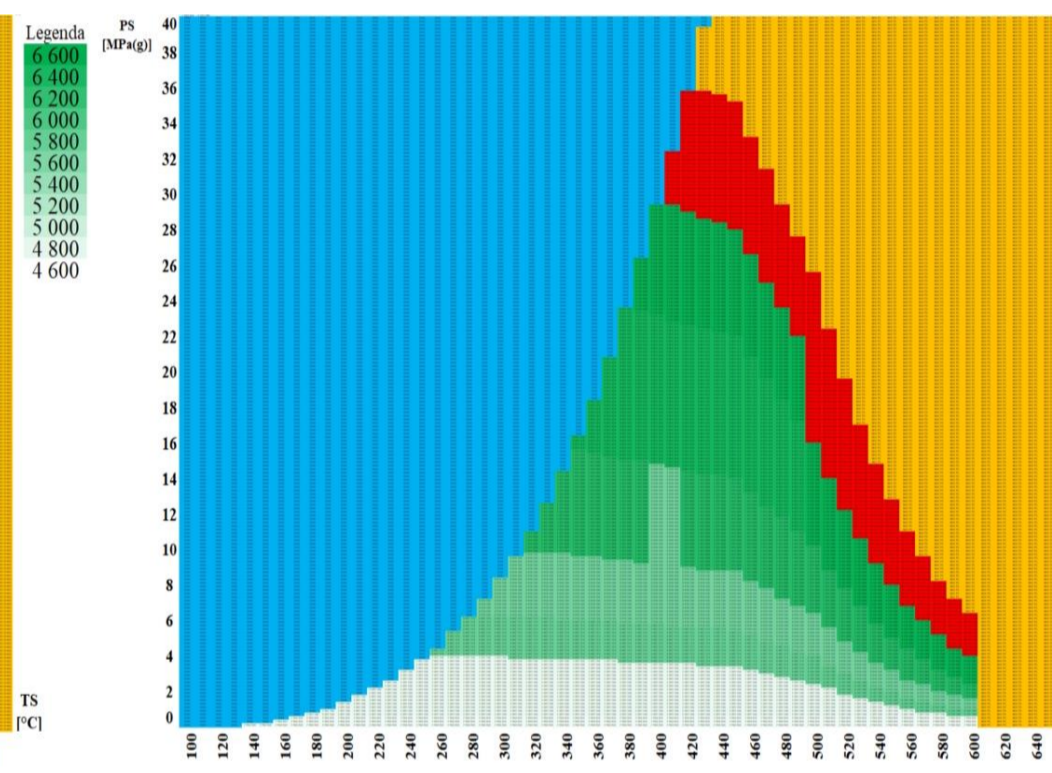
**A106-B**



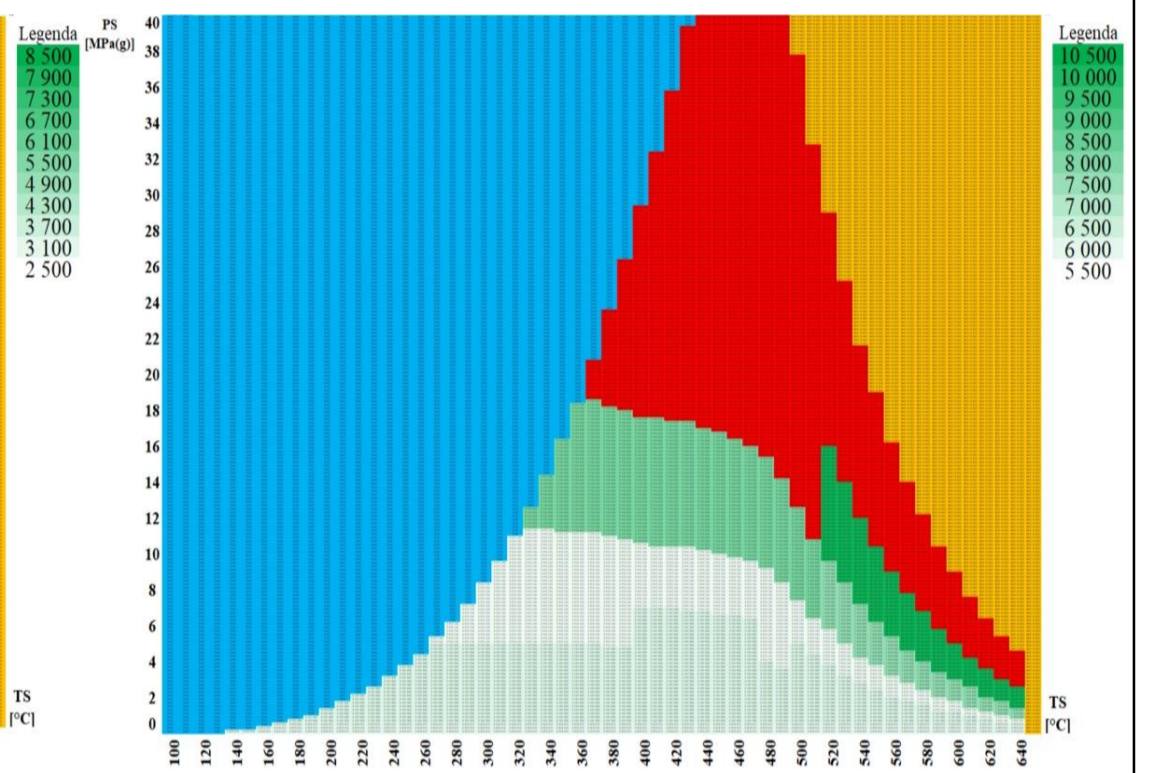
**16Mo3**



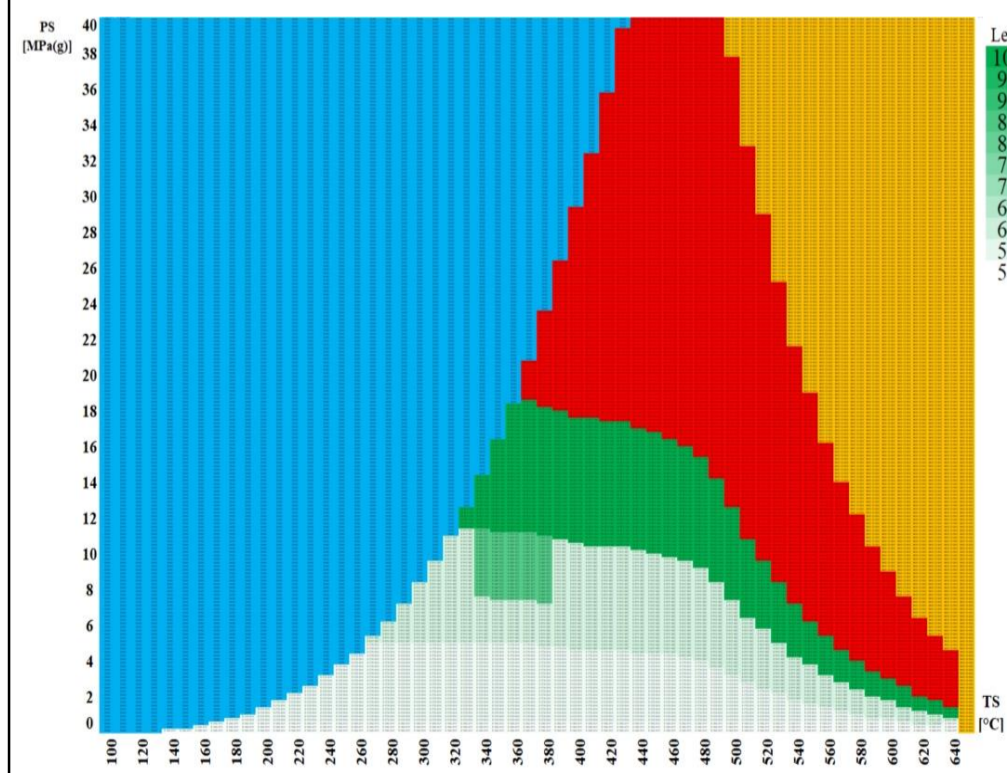
**A335-P1**



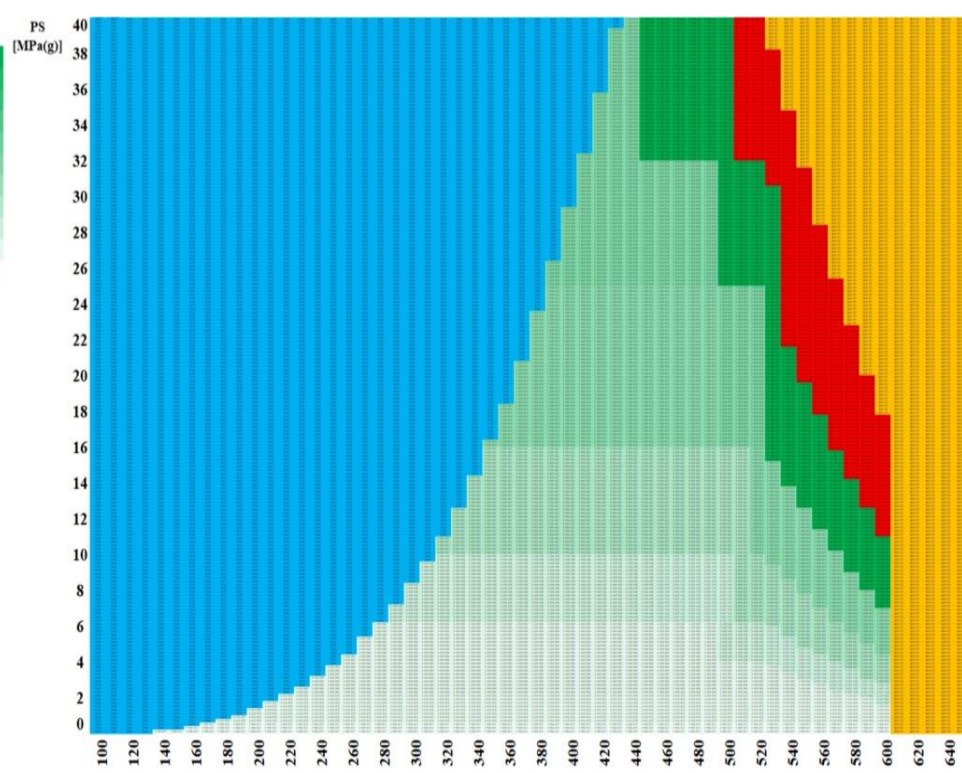
**10CrMo9-10**



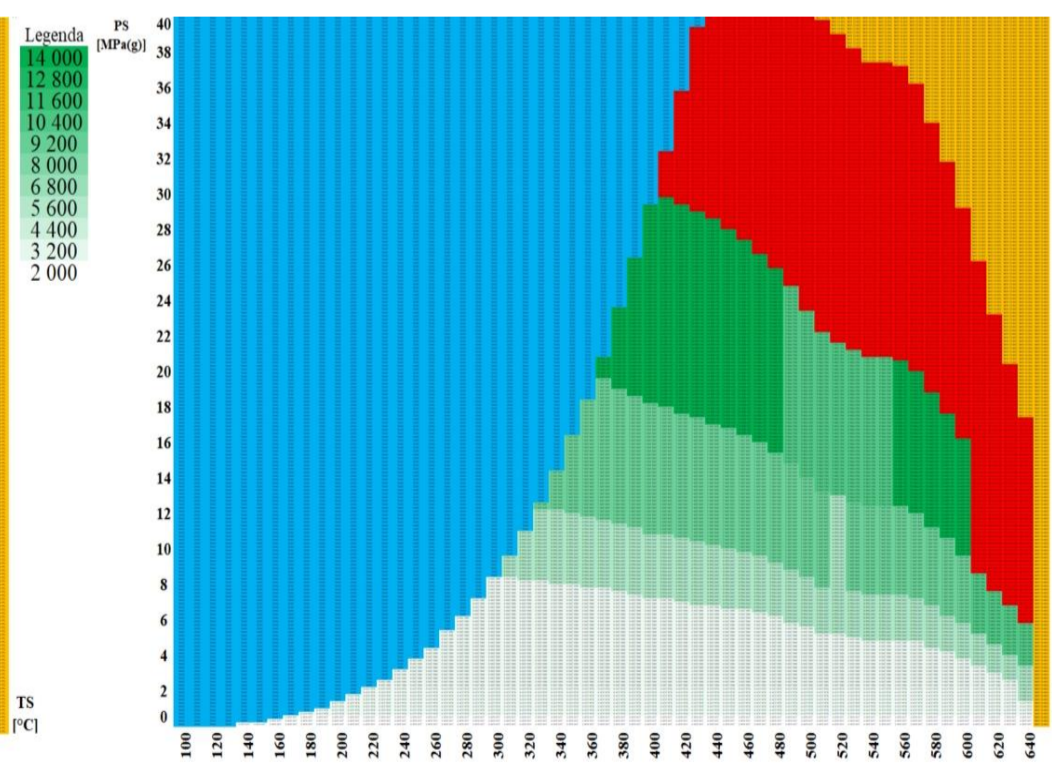
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



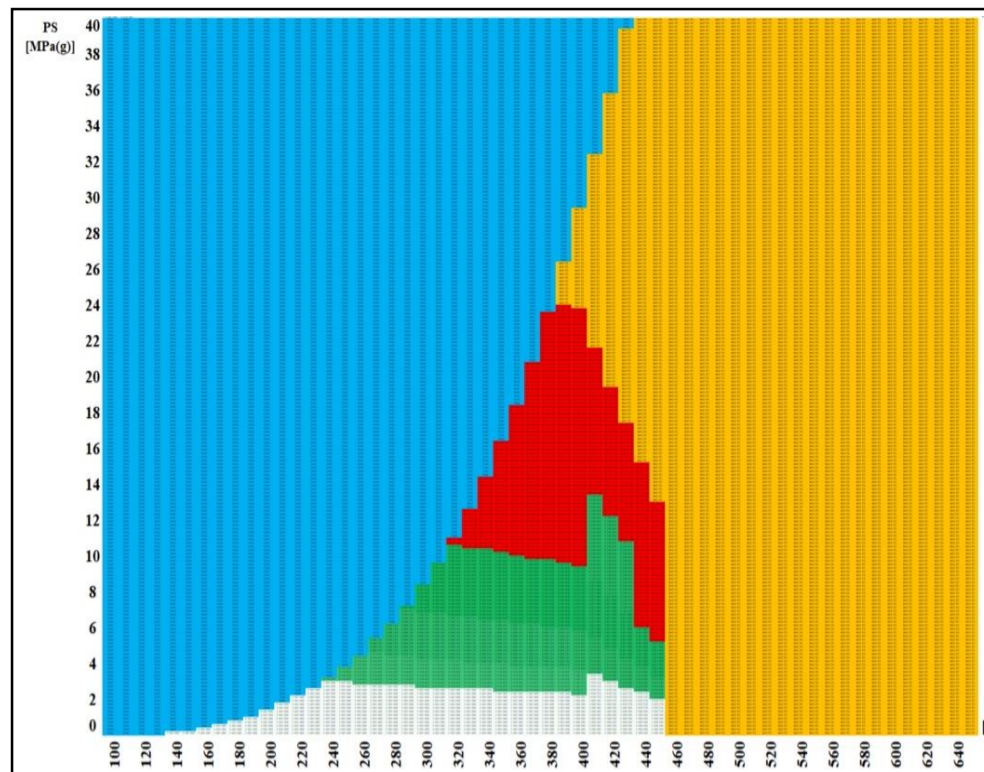
**A335 – P91**

***DN 150 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]***

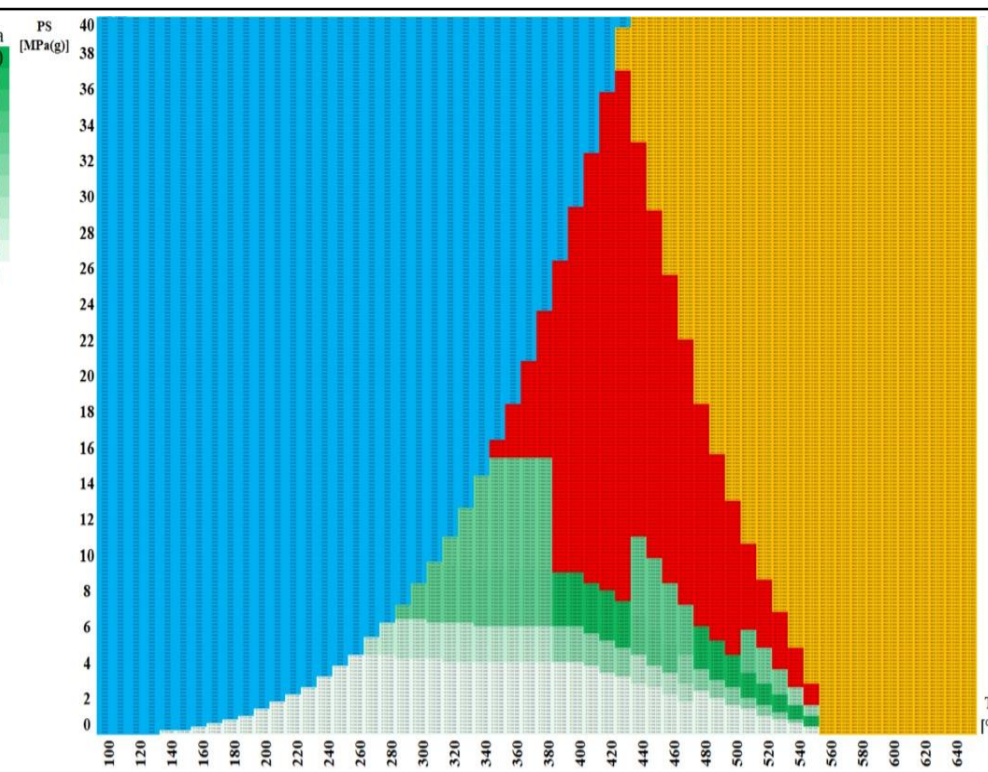
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

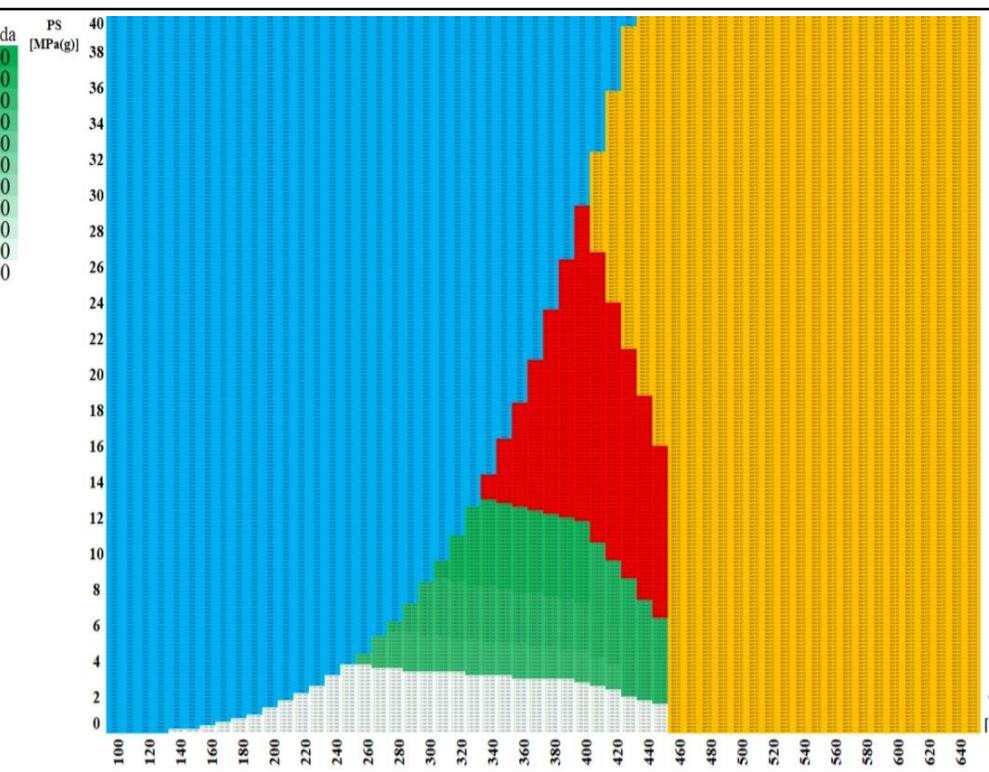
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



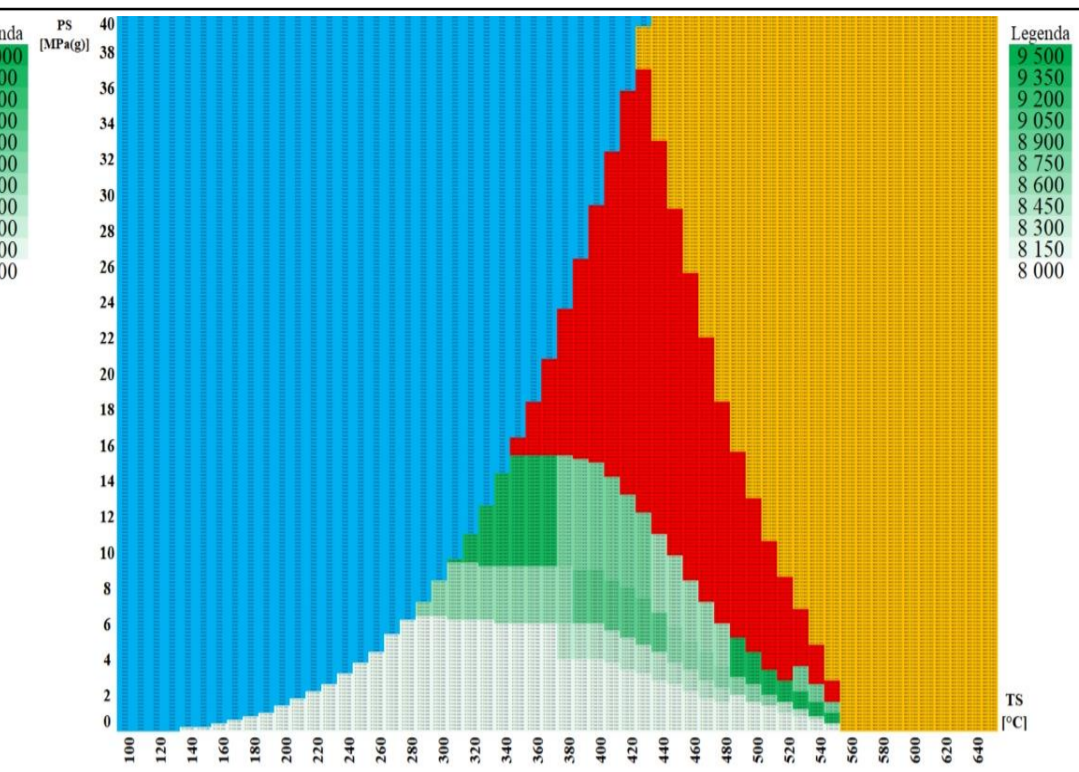
**P235GH**



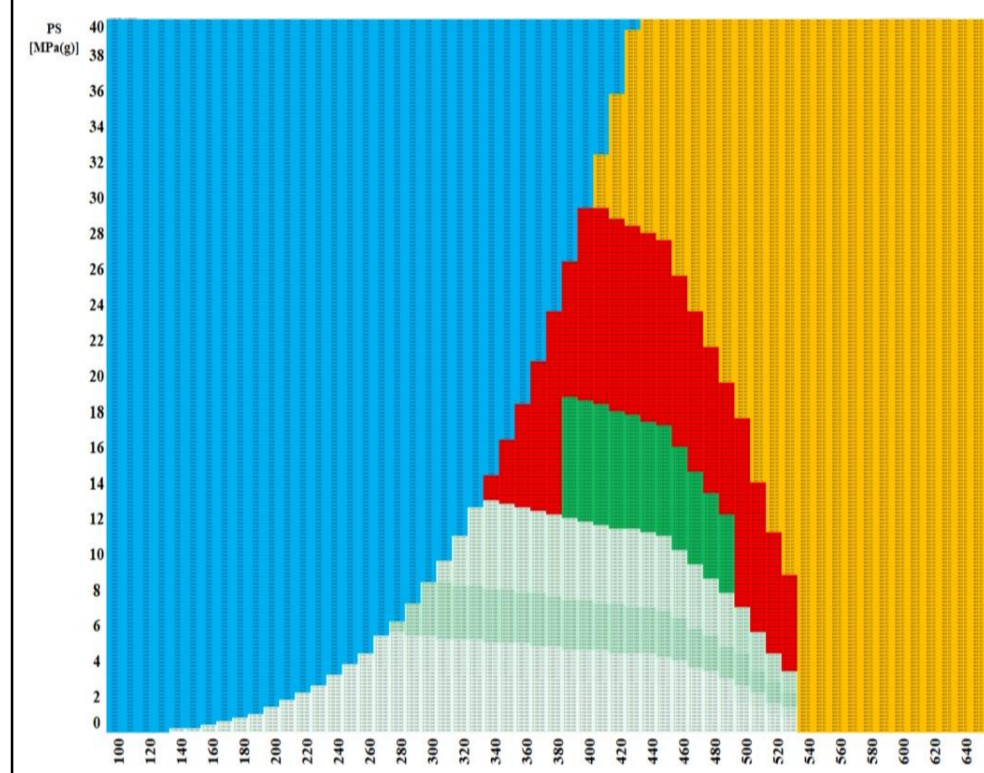
**A106-A**



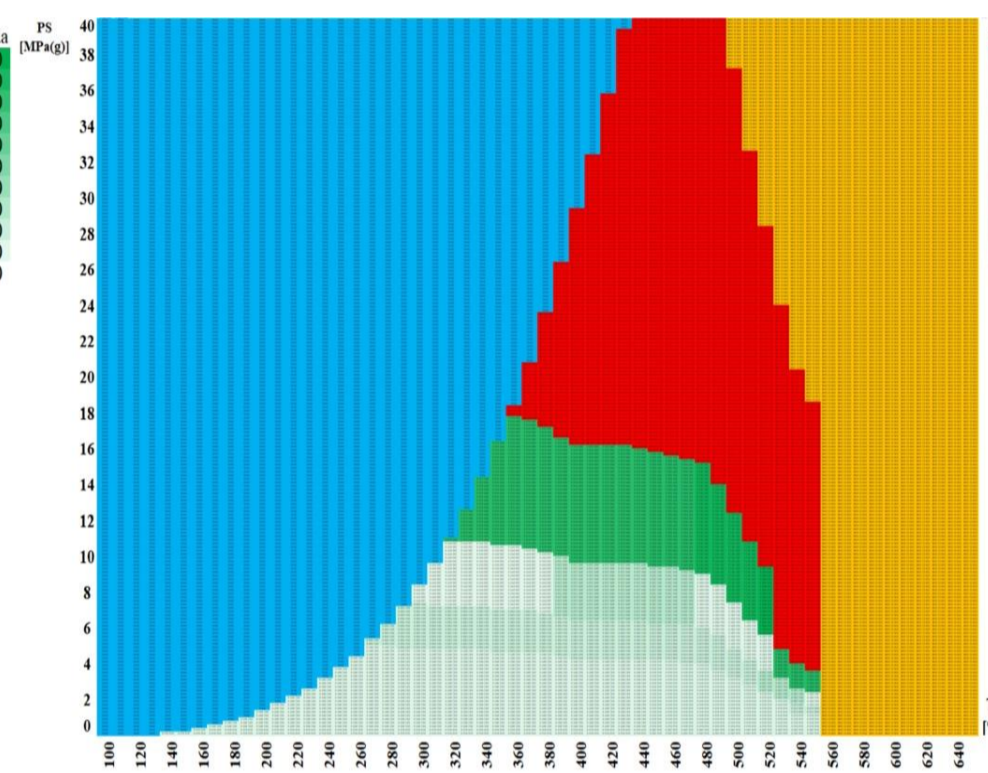
**P265GH**



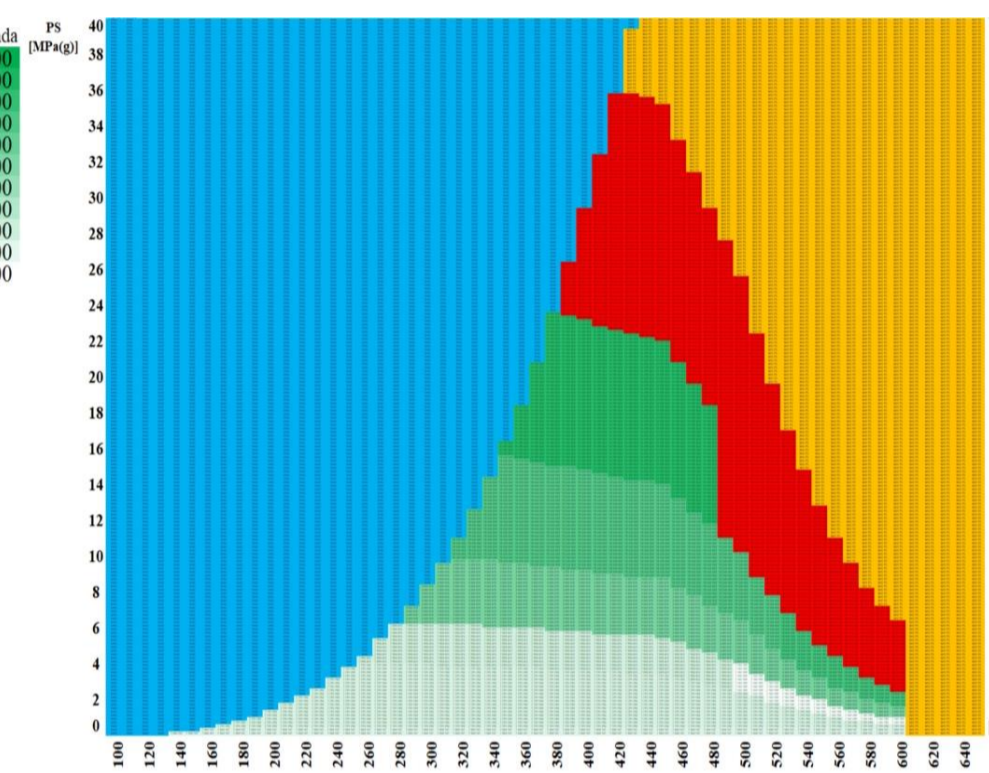
**A106-B**



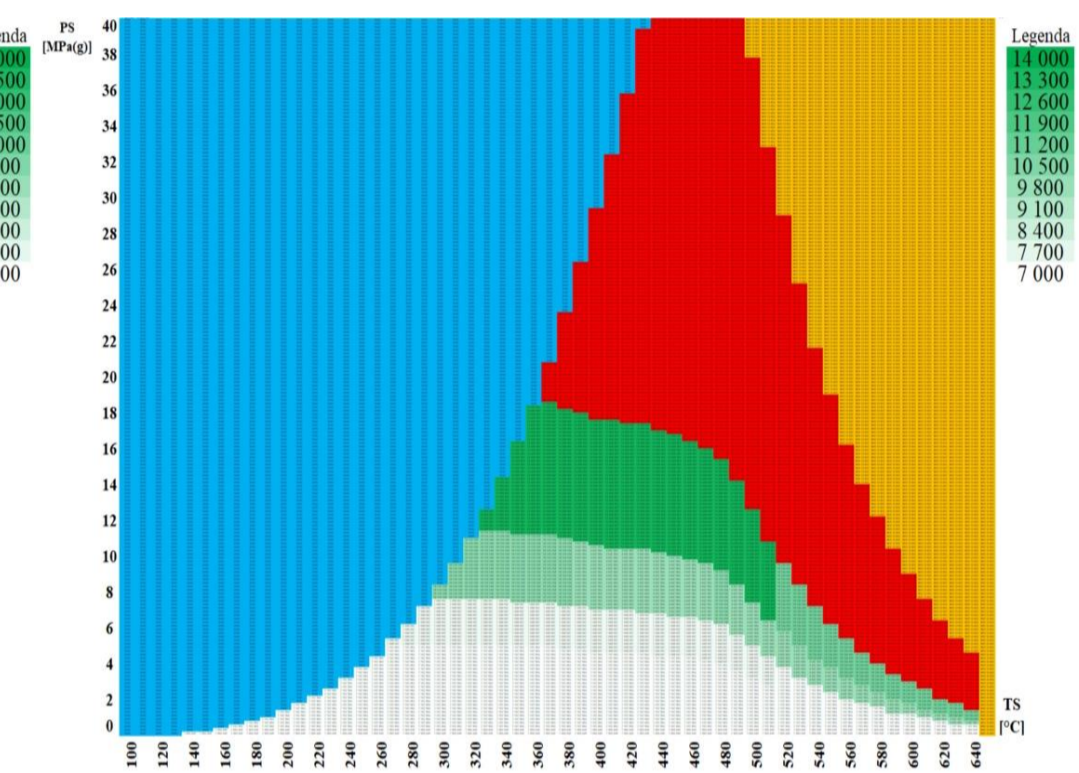
**16Mo3**



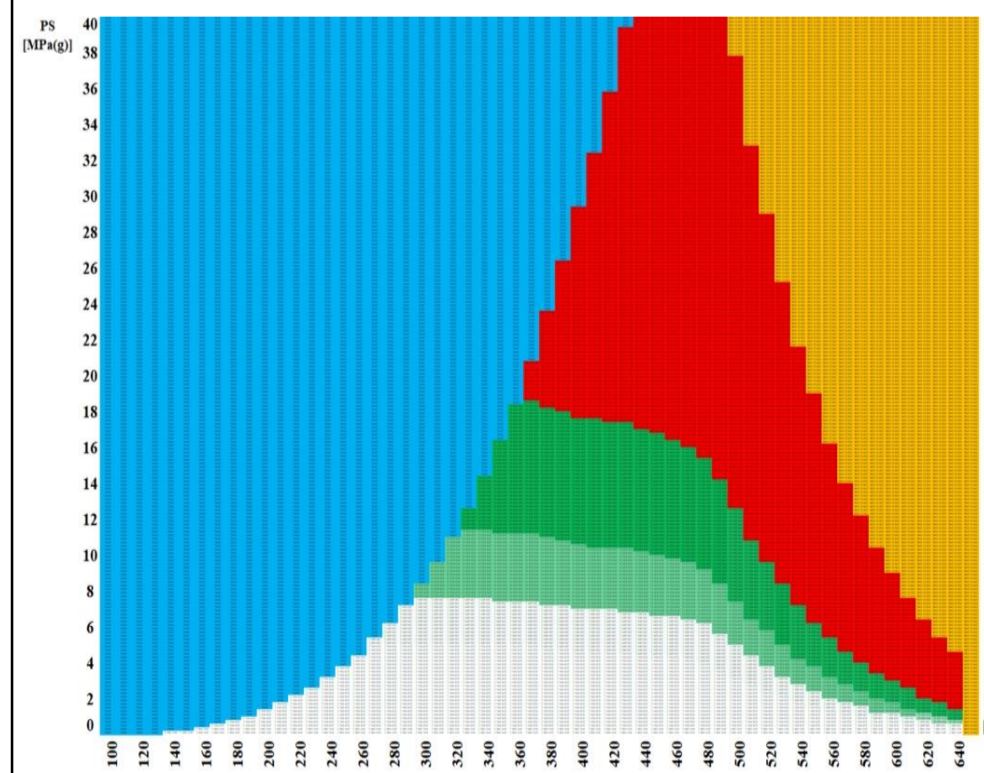
**A335-P1**



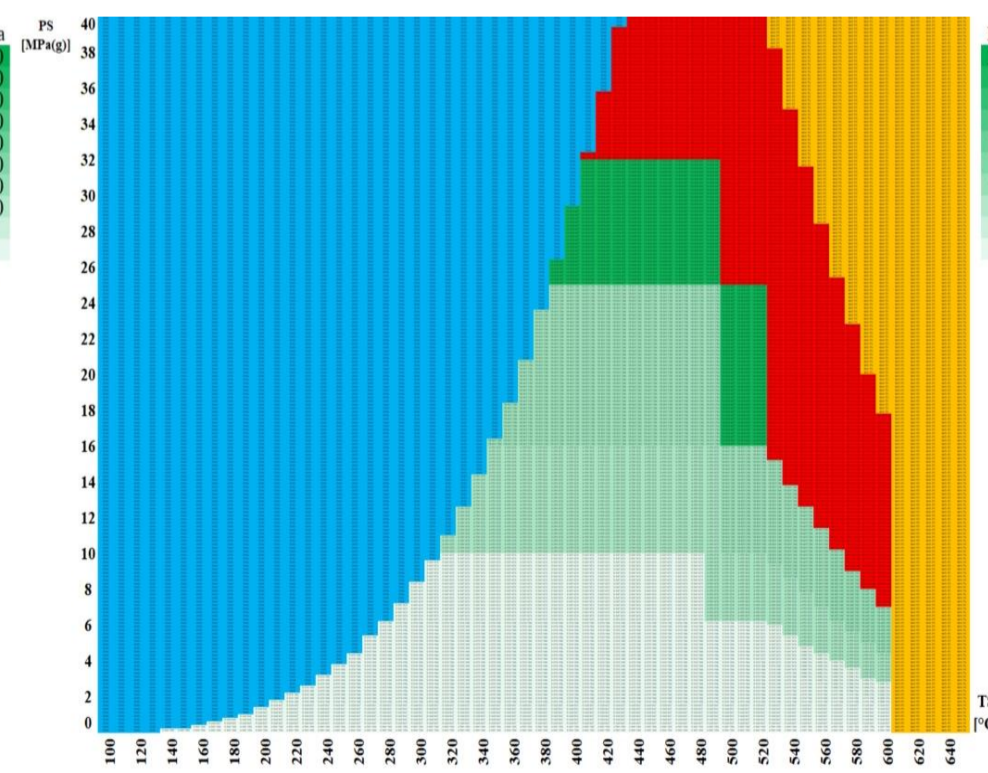
**10CrMo9-10**



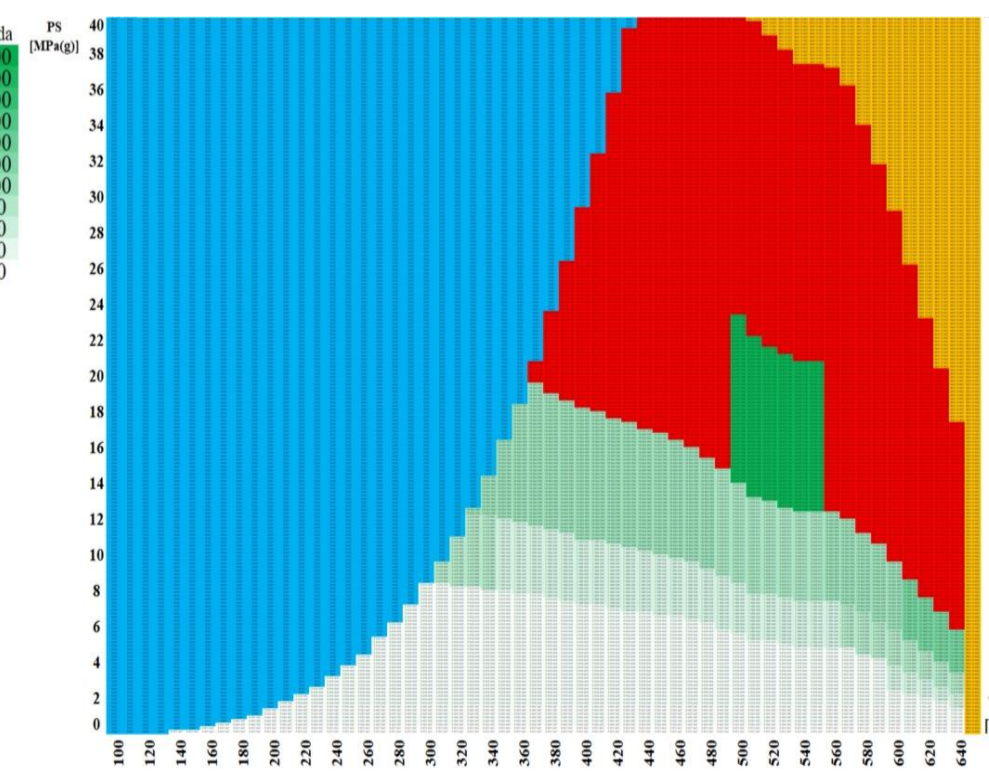
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

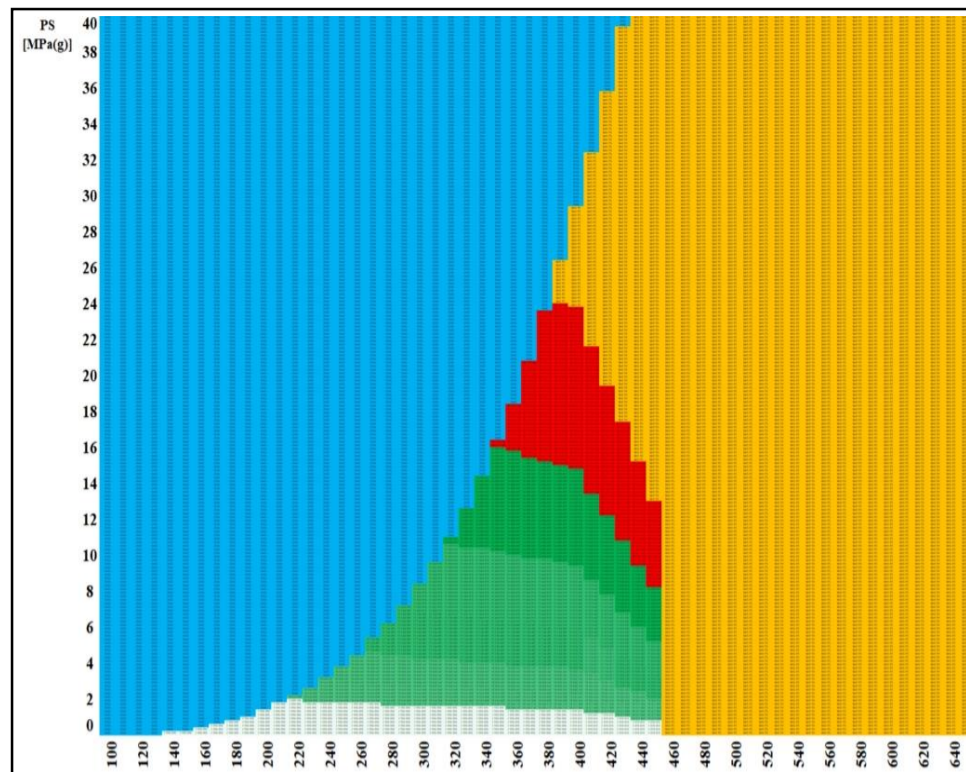
*DN 200 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]*

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

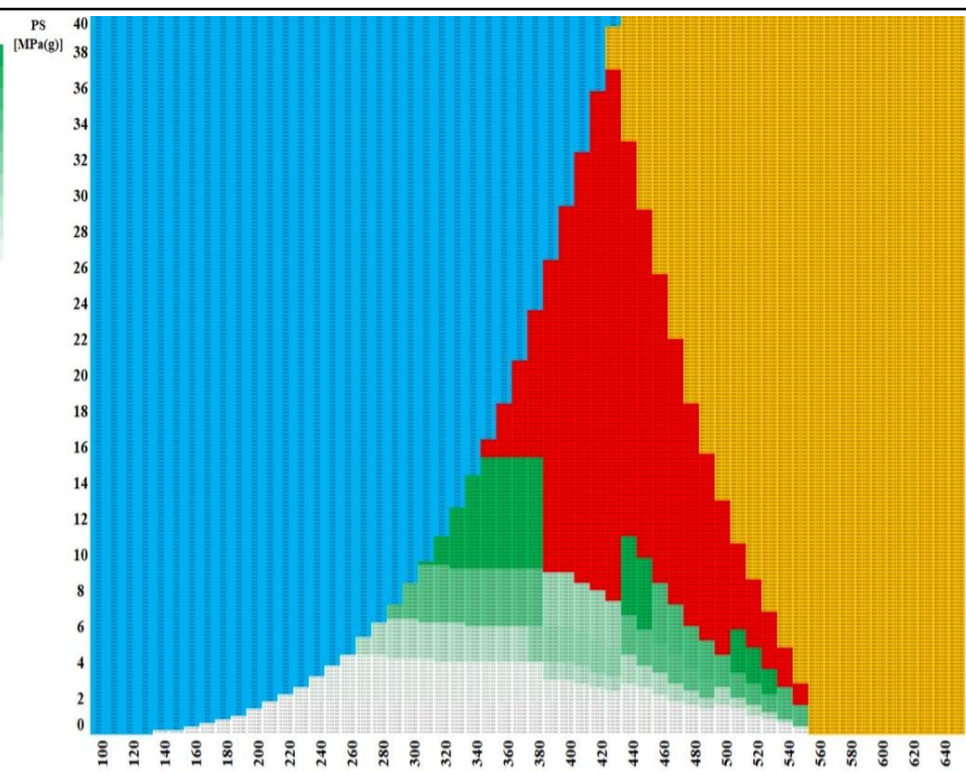
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

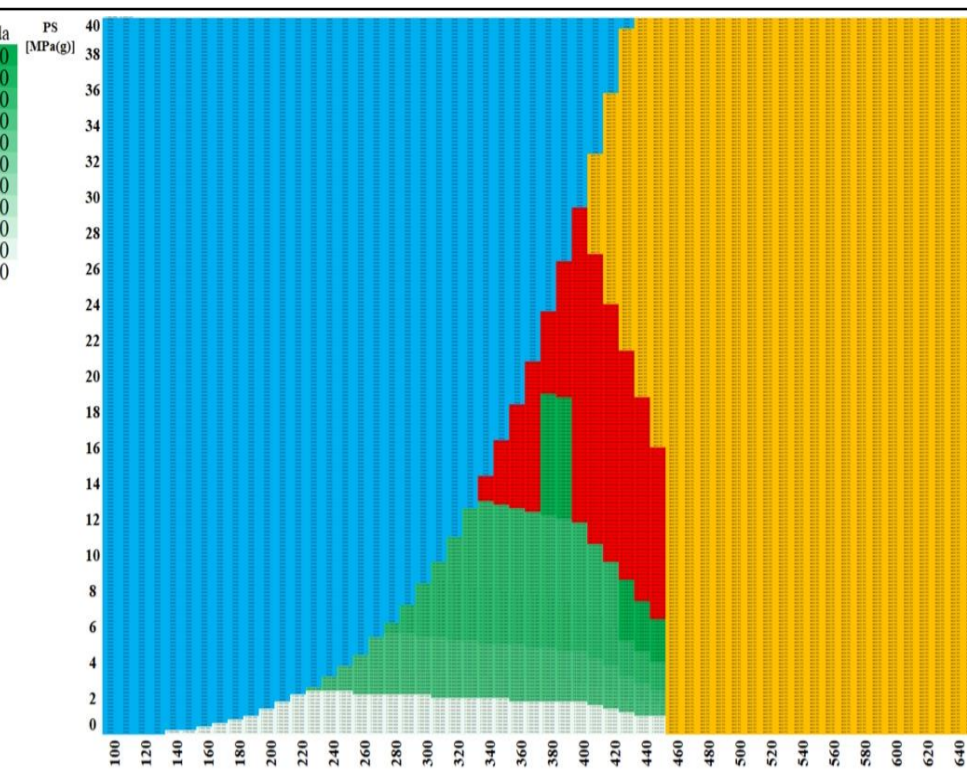




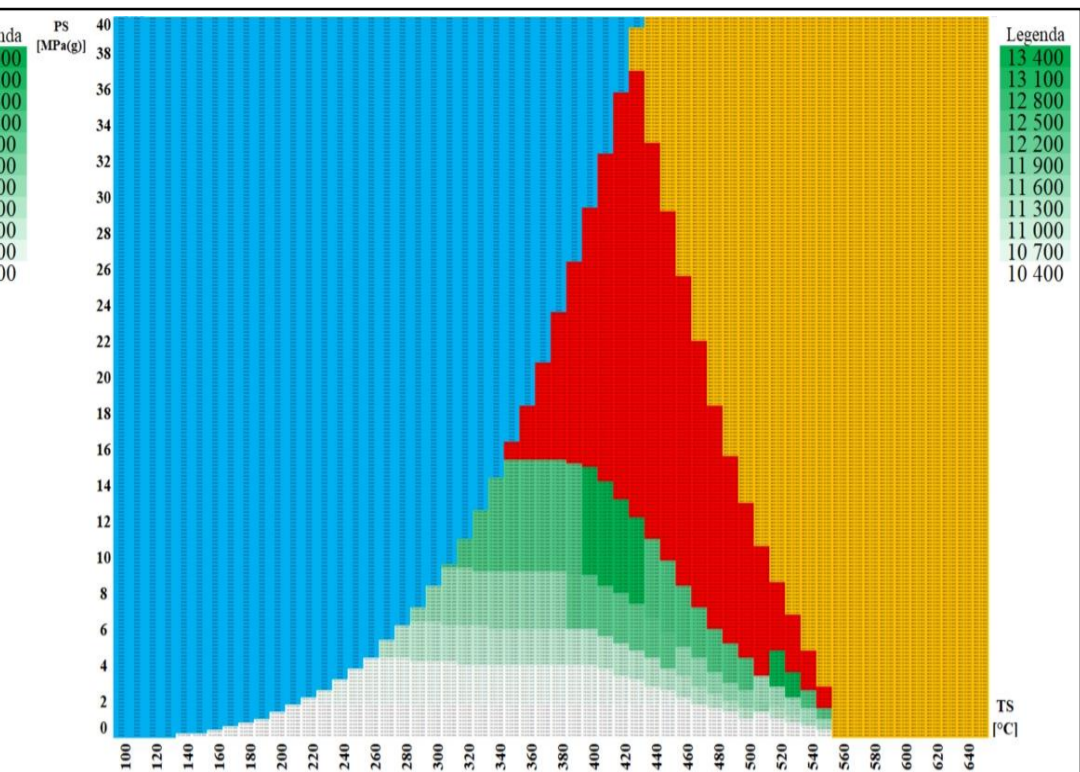
**P235GH**



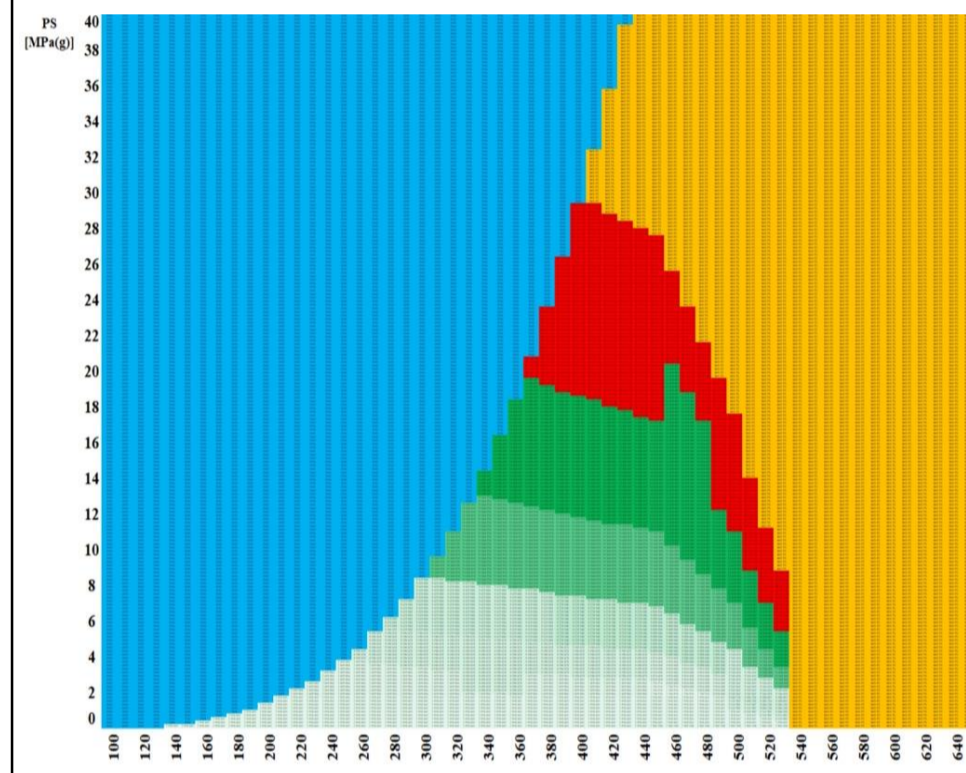
**A106-A**



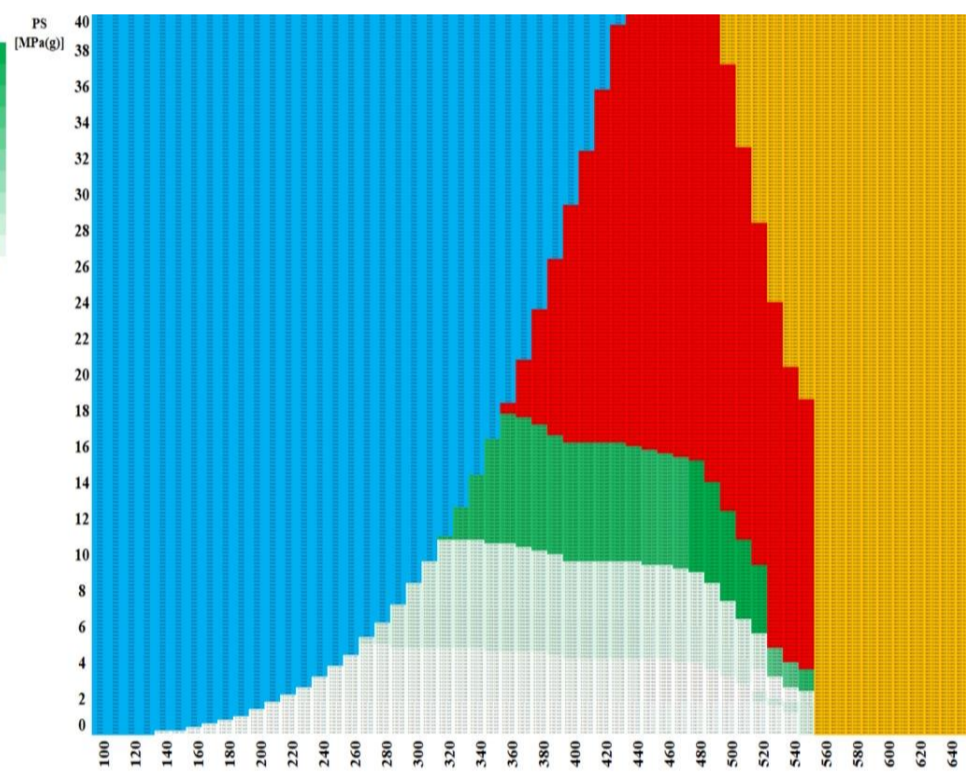
**P265GH**



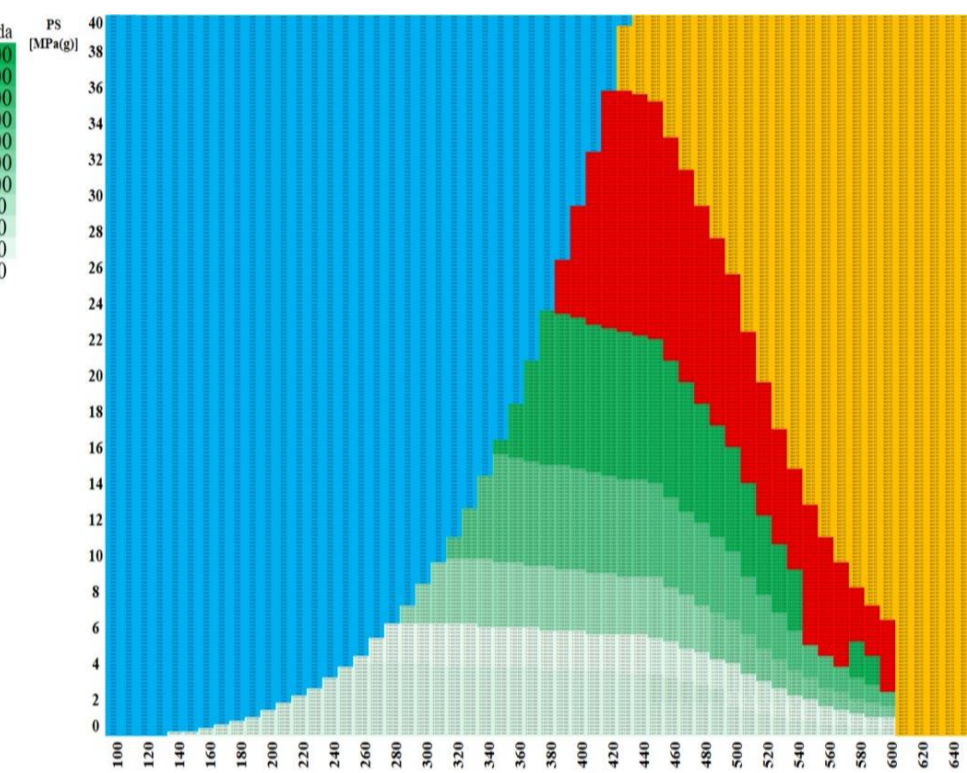
**A106-B**



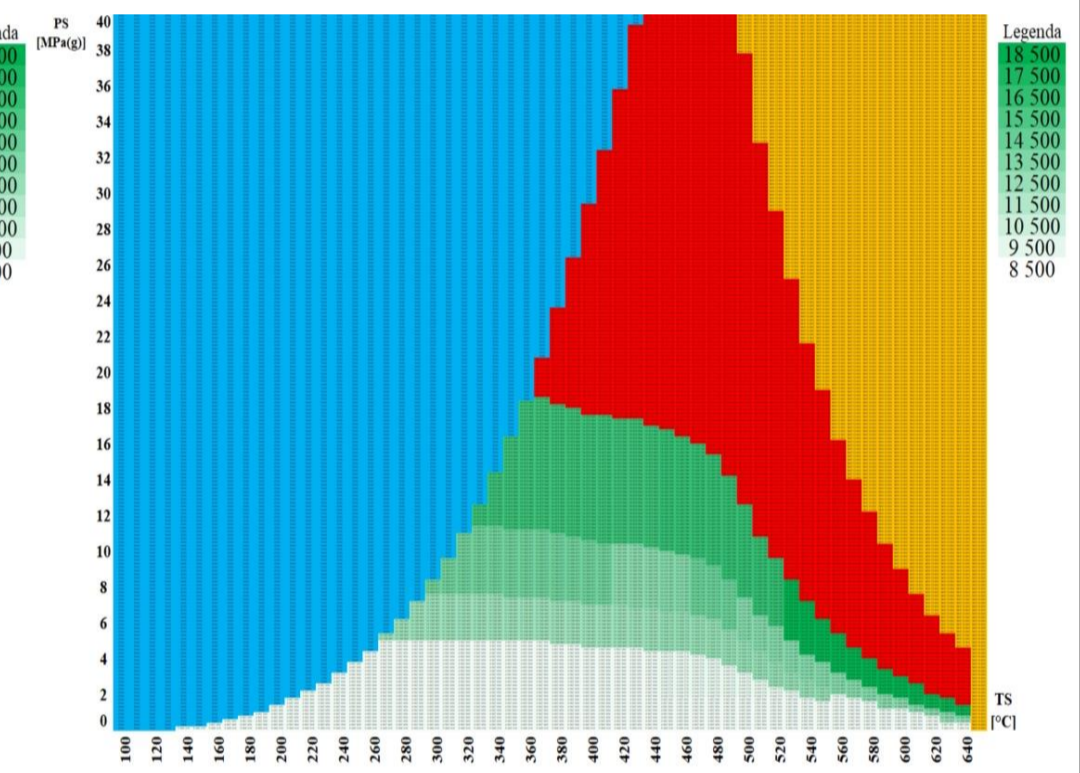
**16Mo3**



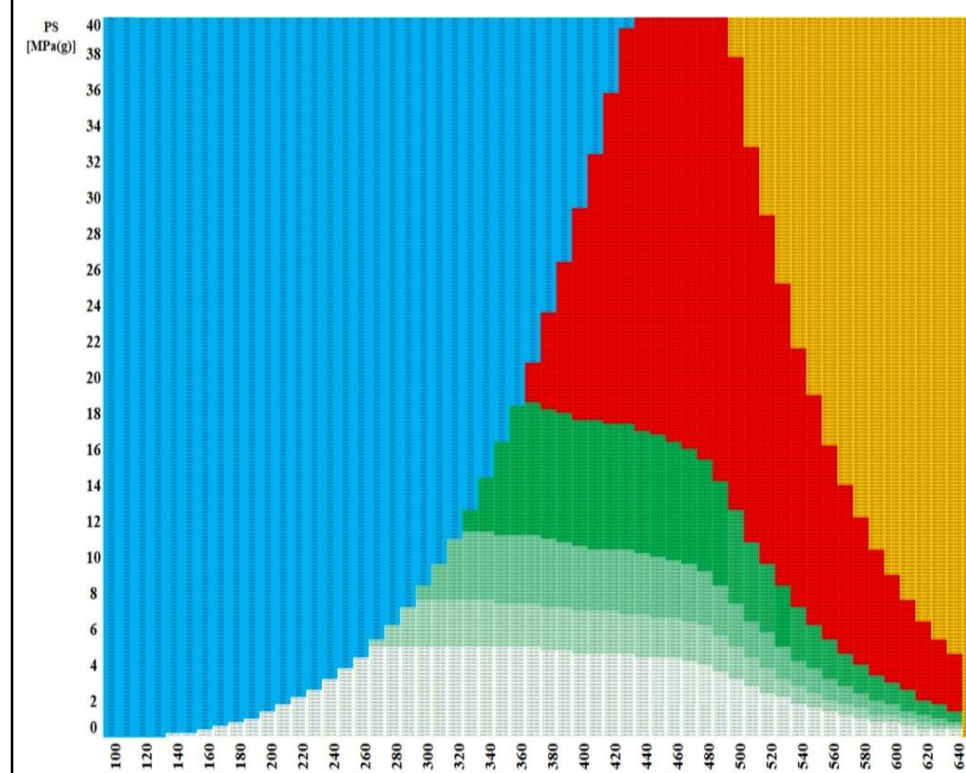
**A335-P1**



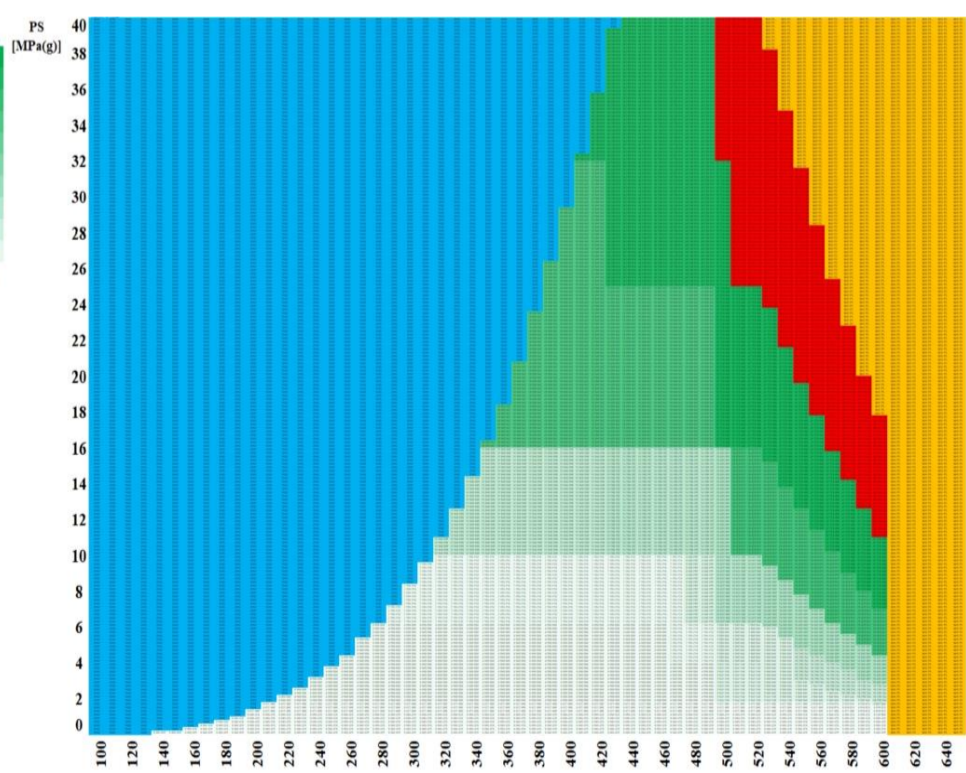
**10CrMo9-10**



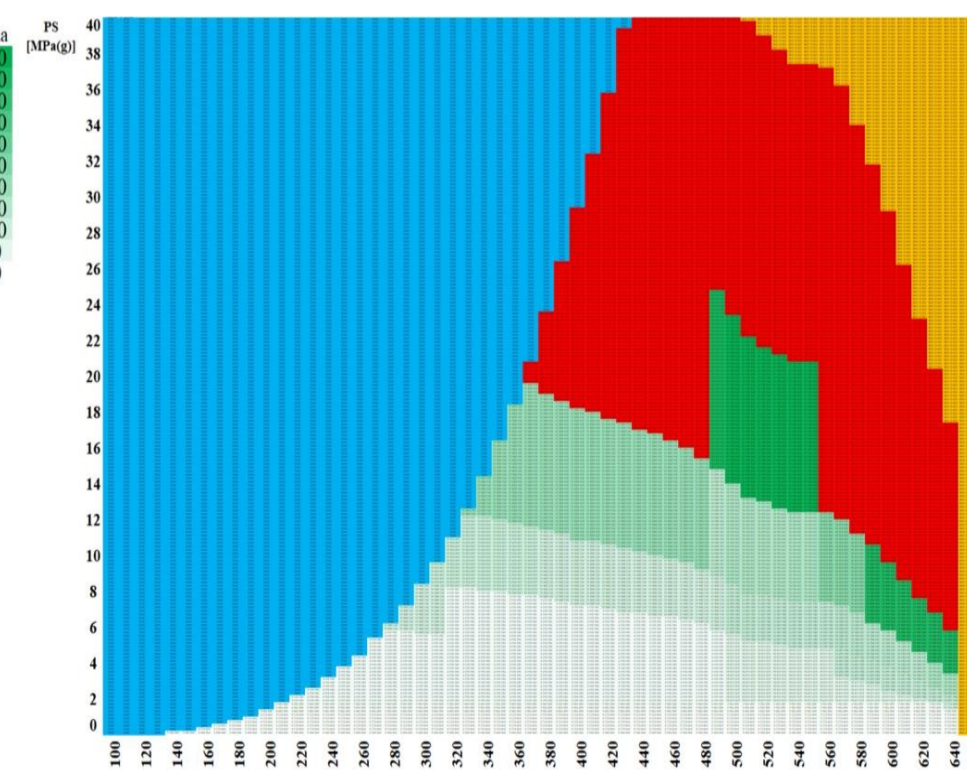
**A335 – P22**



**A335 – P11**



**X10CrMoVNb9-1**



**A335 – P91**

***DN 250 – Cena za 20  
obvodových svarů  
provedených v západní  
Evropě  
[tis. PJ]***

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

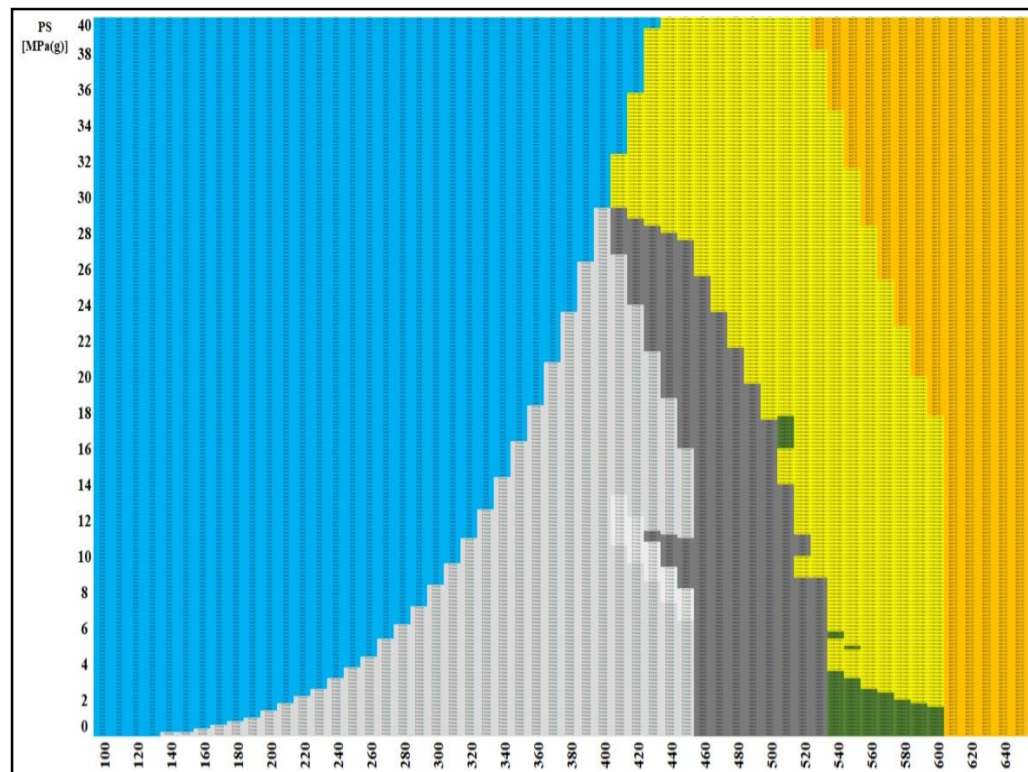
**Voda**

**Není definován tlakoteplotní stupeň**

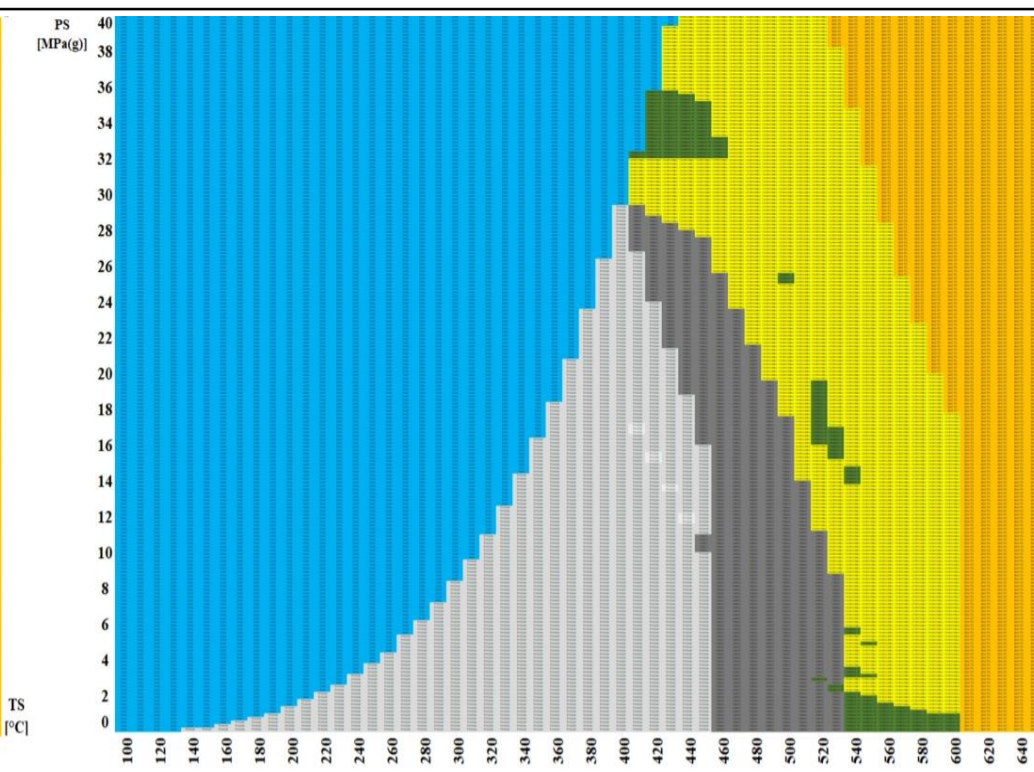
## **Příloha 2.6**

-

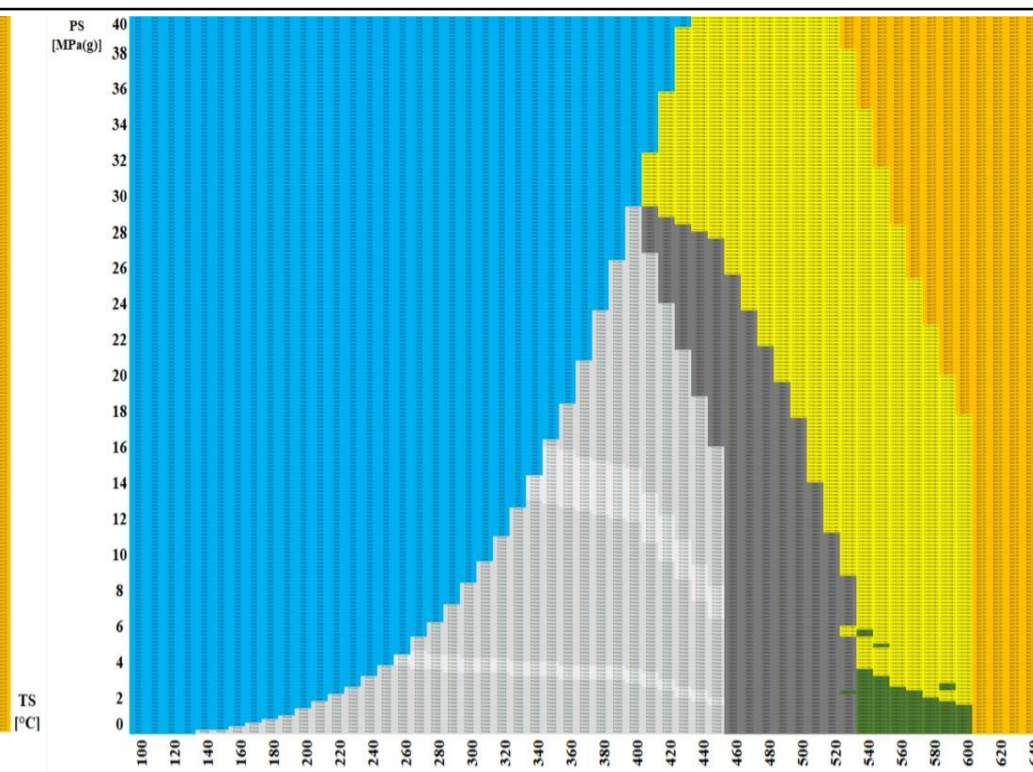
**Zobrazení finančně nejvýhodnějšího materiálu pro potrubní trasu složenou z 30 metrů přímého potrubí a 20 obvodových svarů**



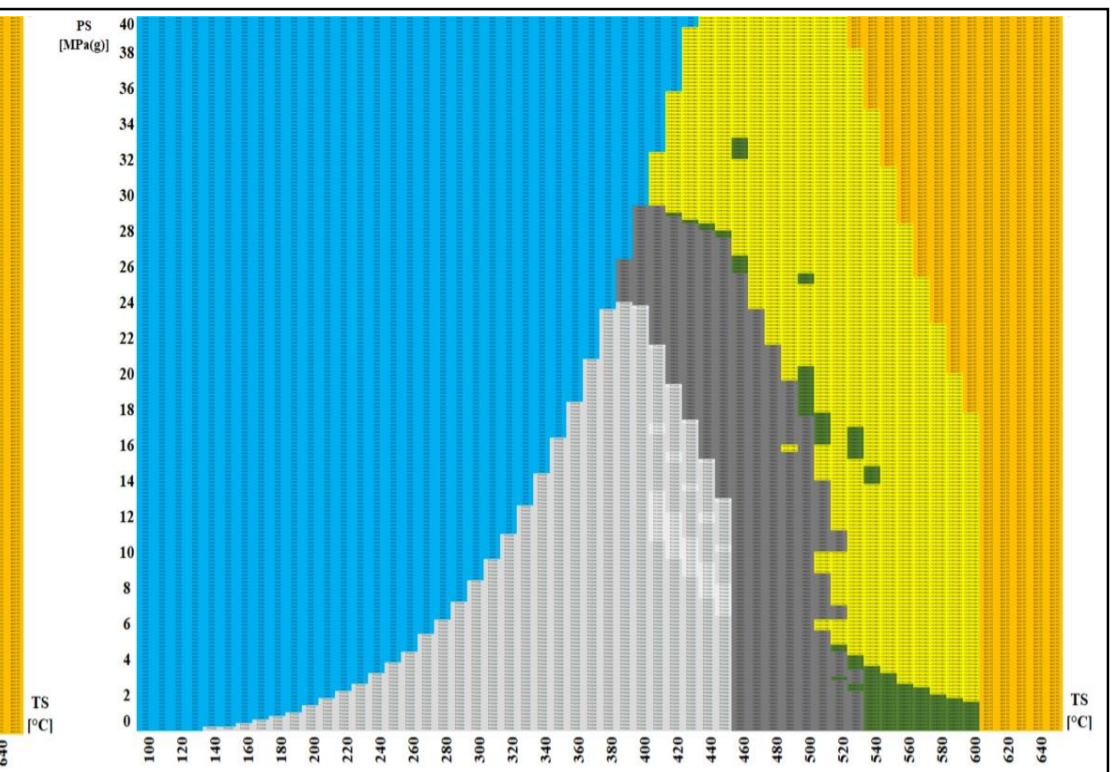
**DN 25**



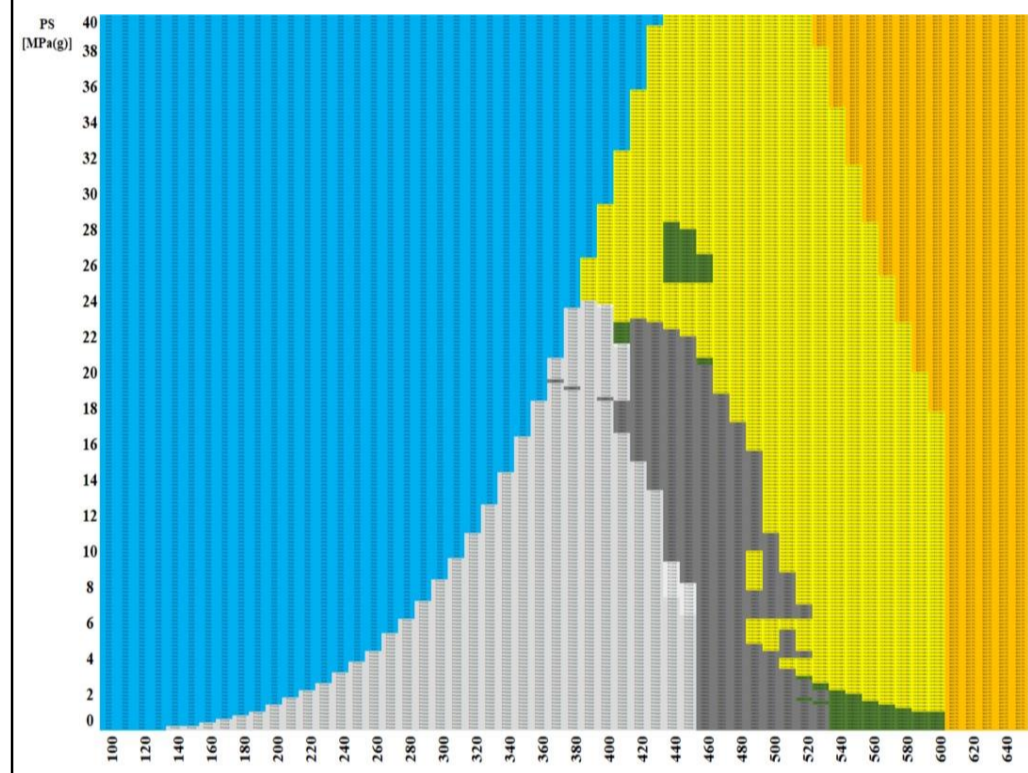
**DN 32**



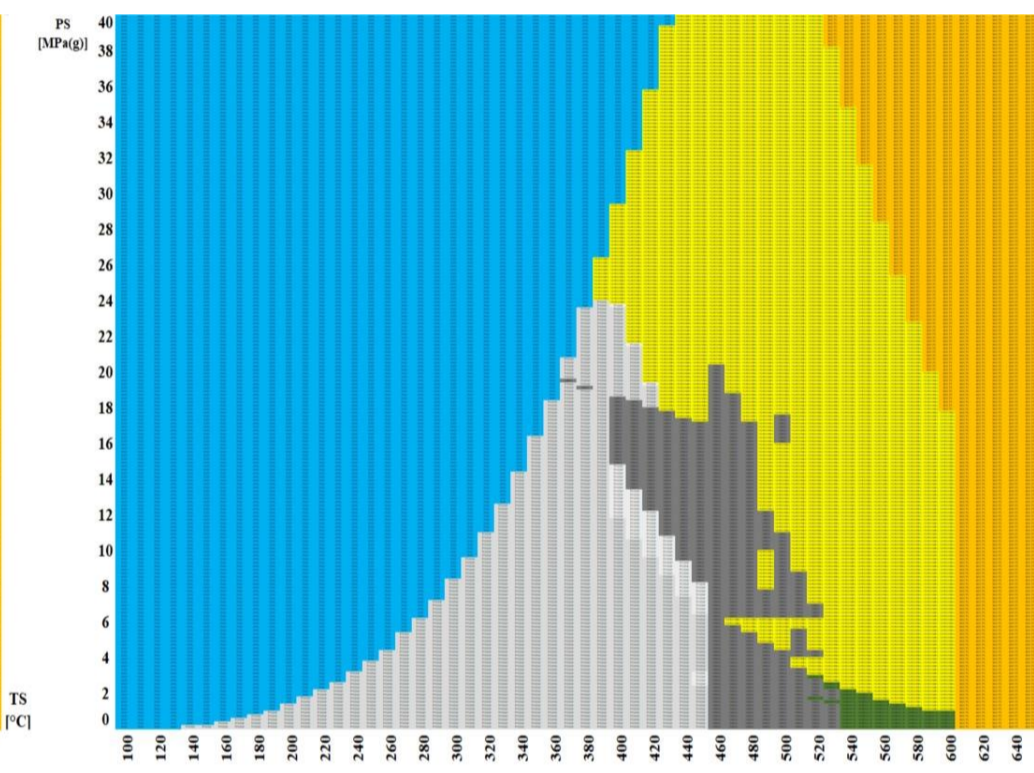
**DN 40**



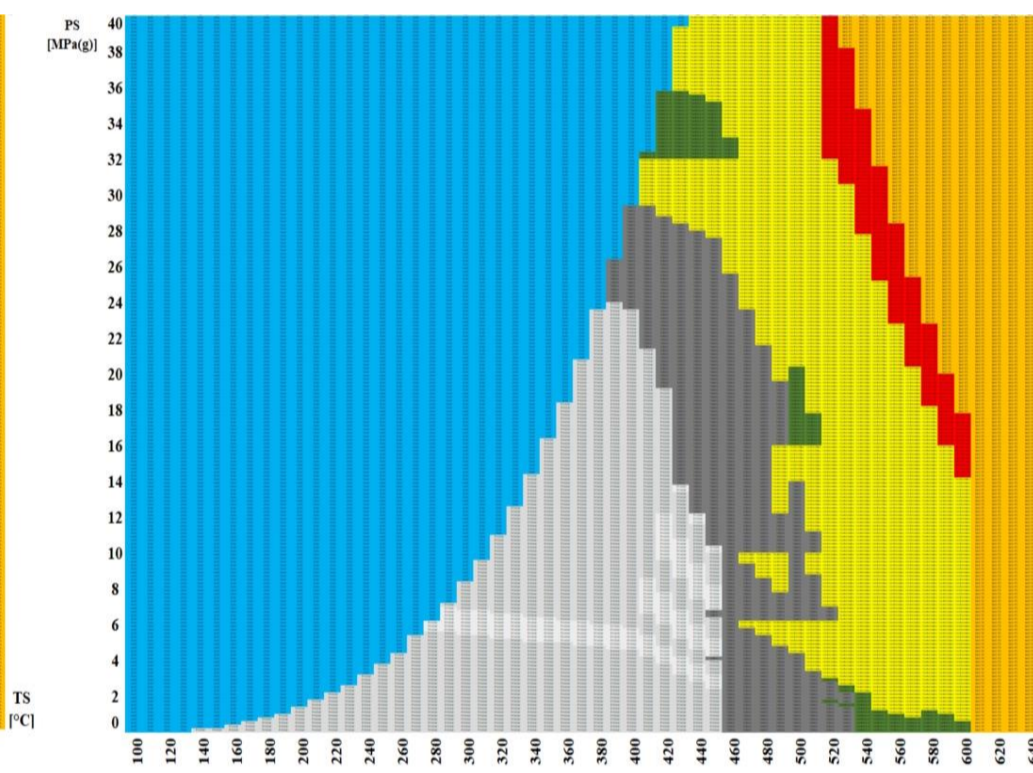
**DN 50**



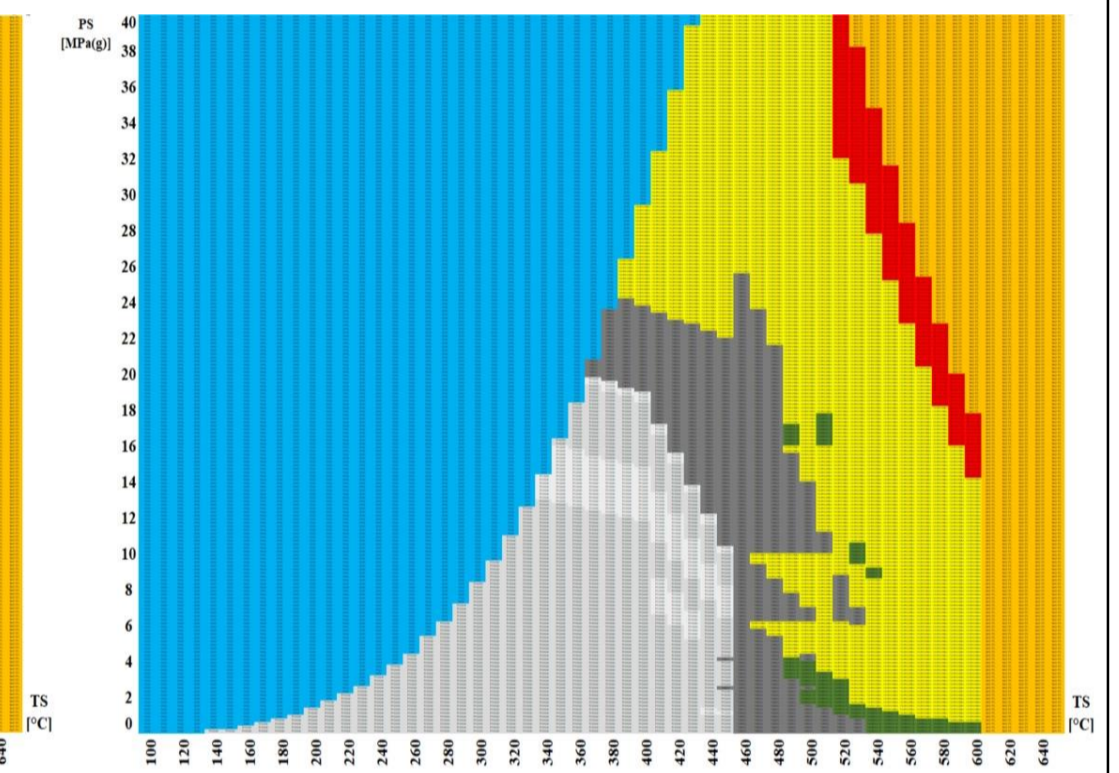
**DN 65**



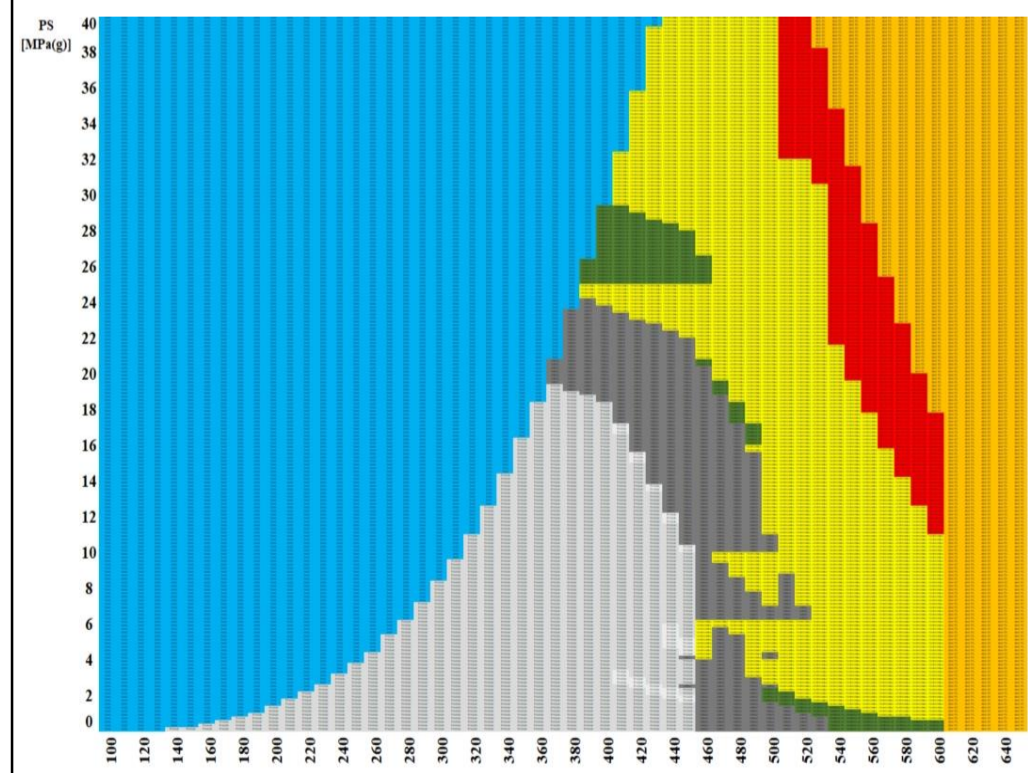
**DN 80**



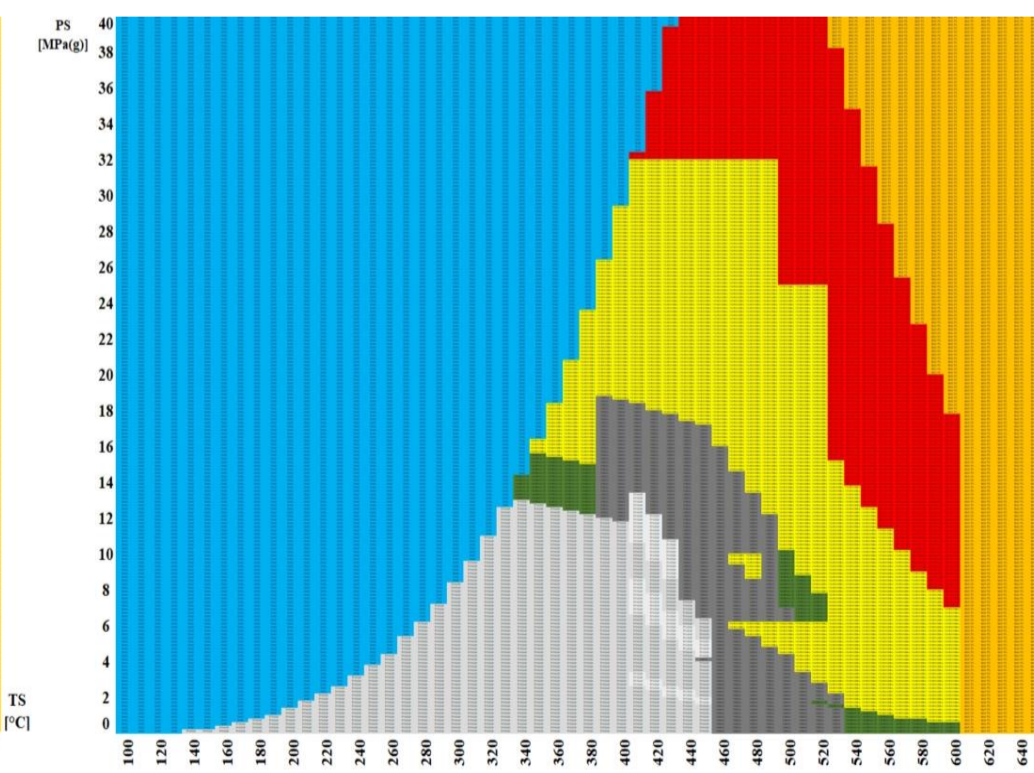
**DN 100**



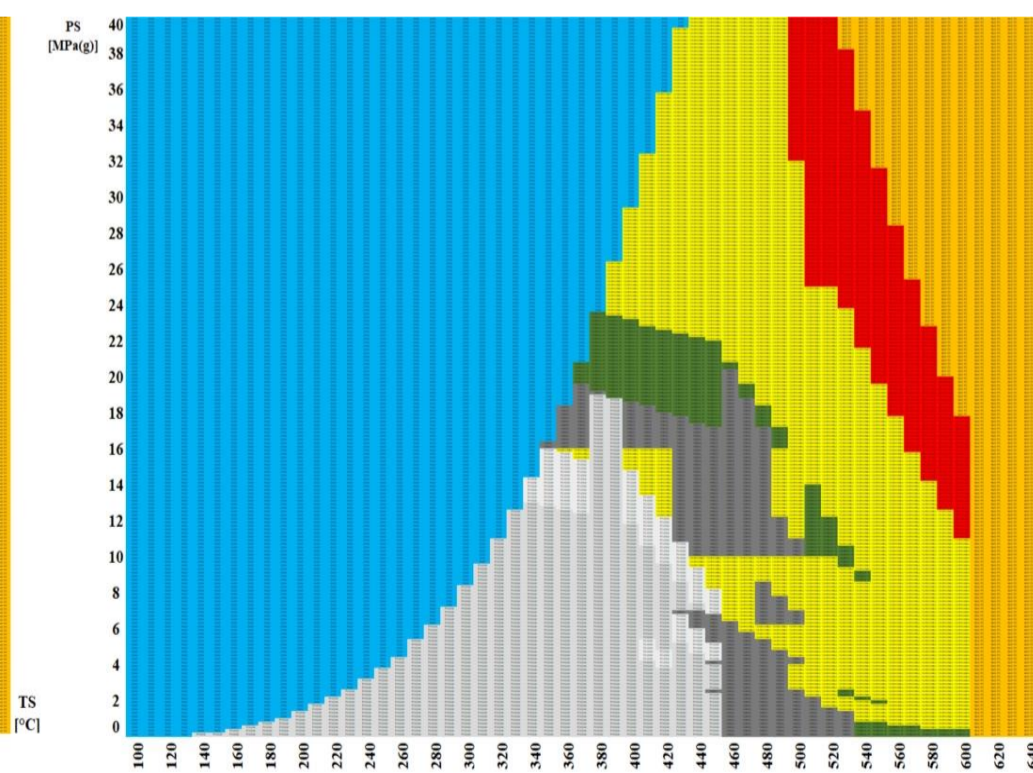
**DN 125**



**DN 150**



**DN 200**



**DN 250**

*Finančně nejvýhodnější  
materiál potrubní trasy  
složené z 30 metrů přímého  
potrubí dimenzovaných podle  
EN a 20 obvodových svarů  
provedených v ČR*

P235GH

16Mo3

10CrMo9-10

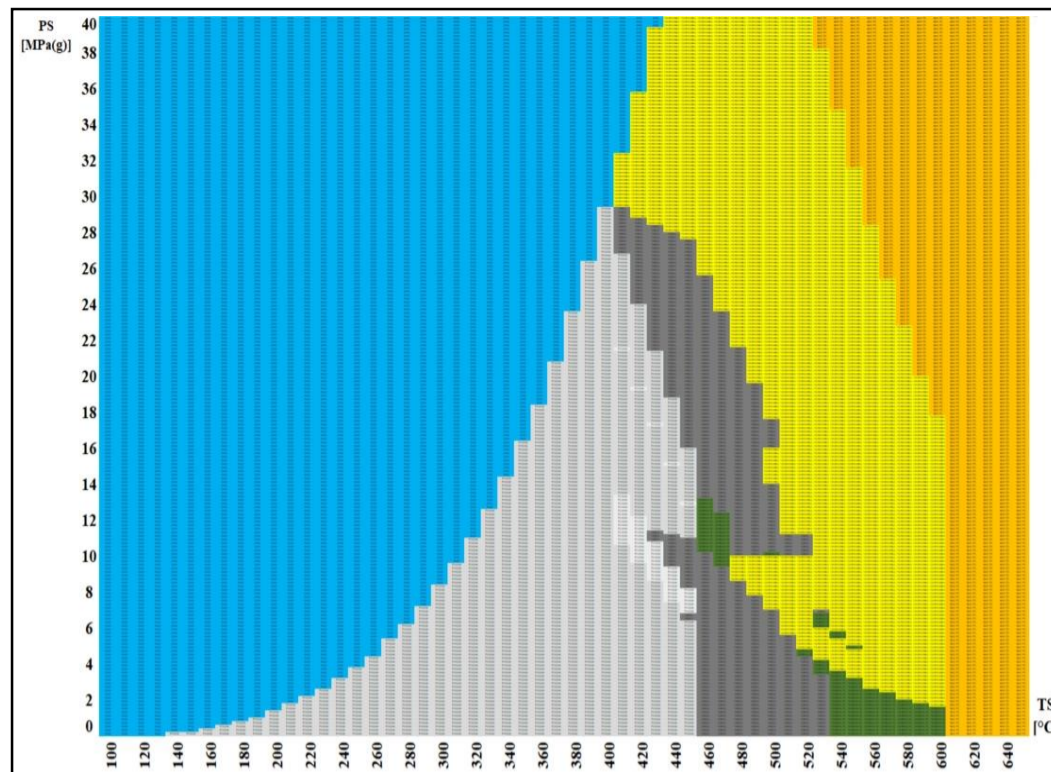
P265GH

X10CrMoVNb9-1

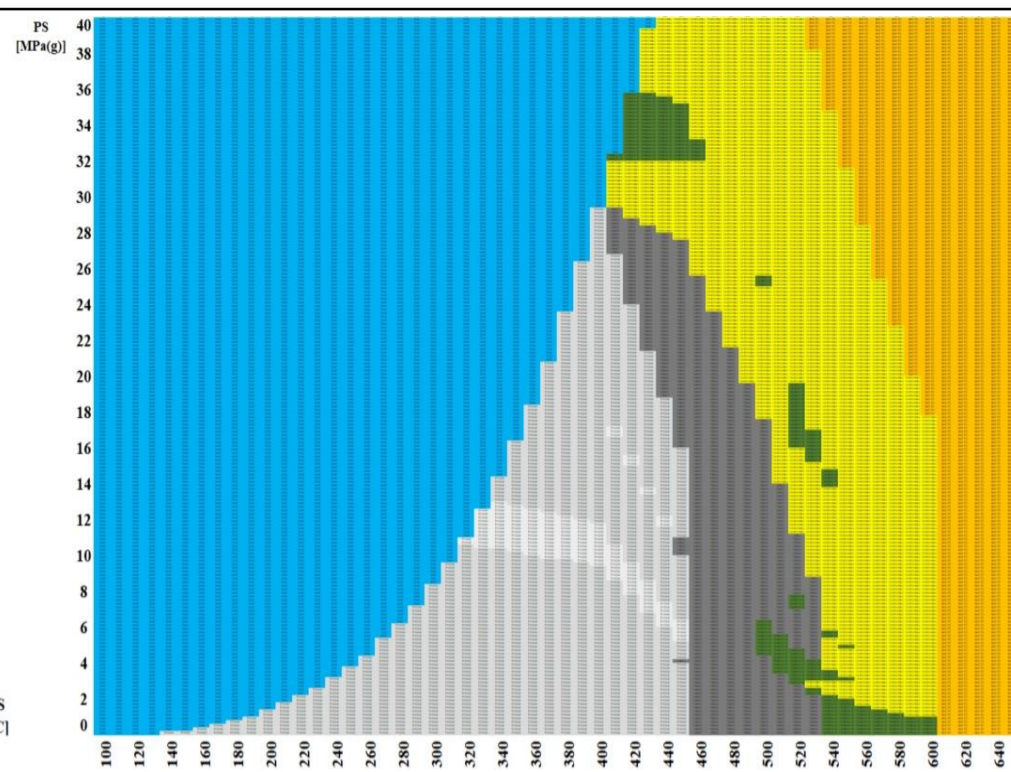
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

Voda

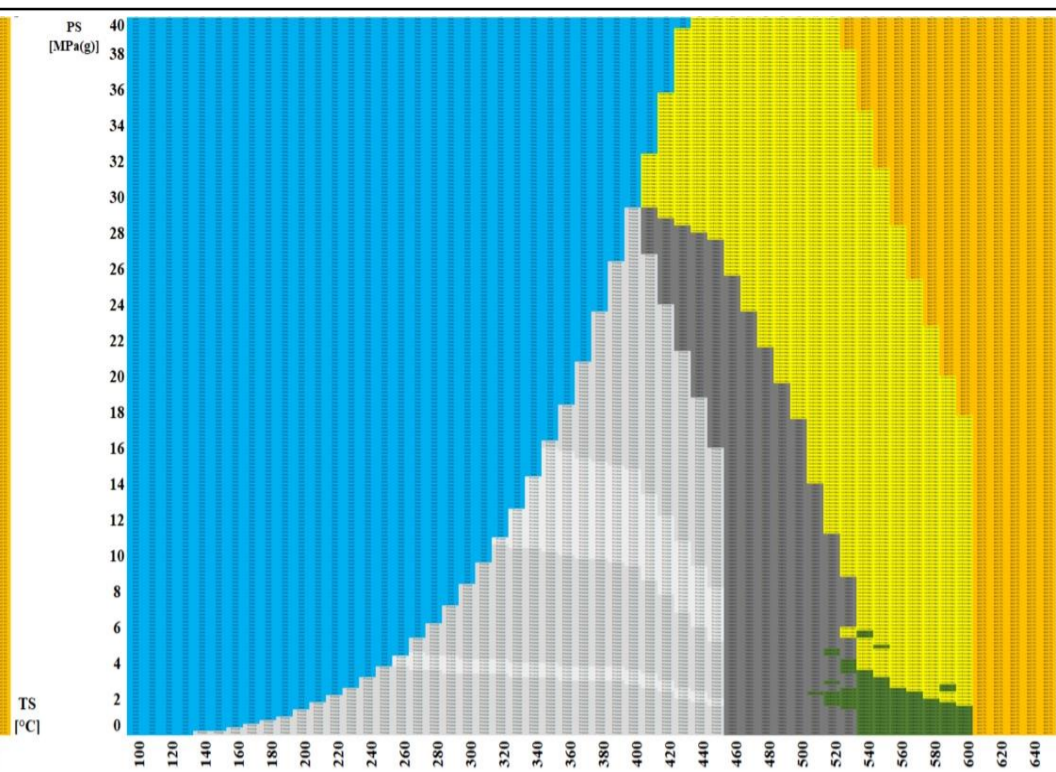
Není definován tlakoteplotní stupeň



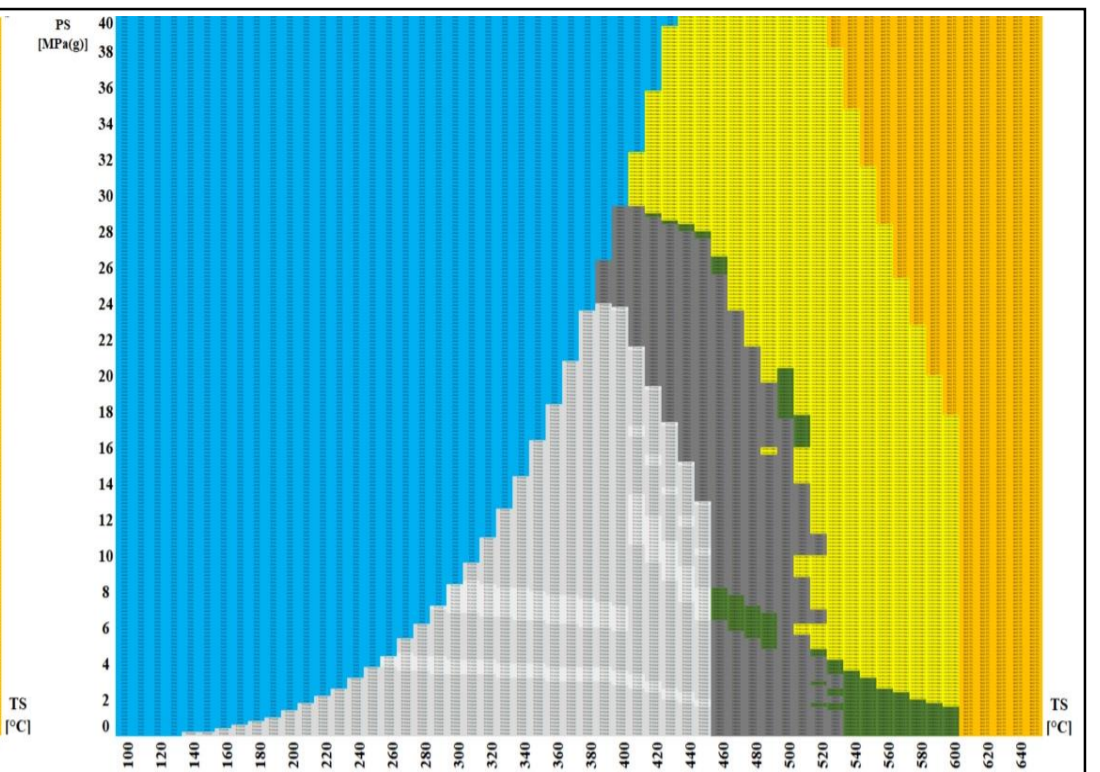
**DN 25**



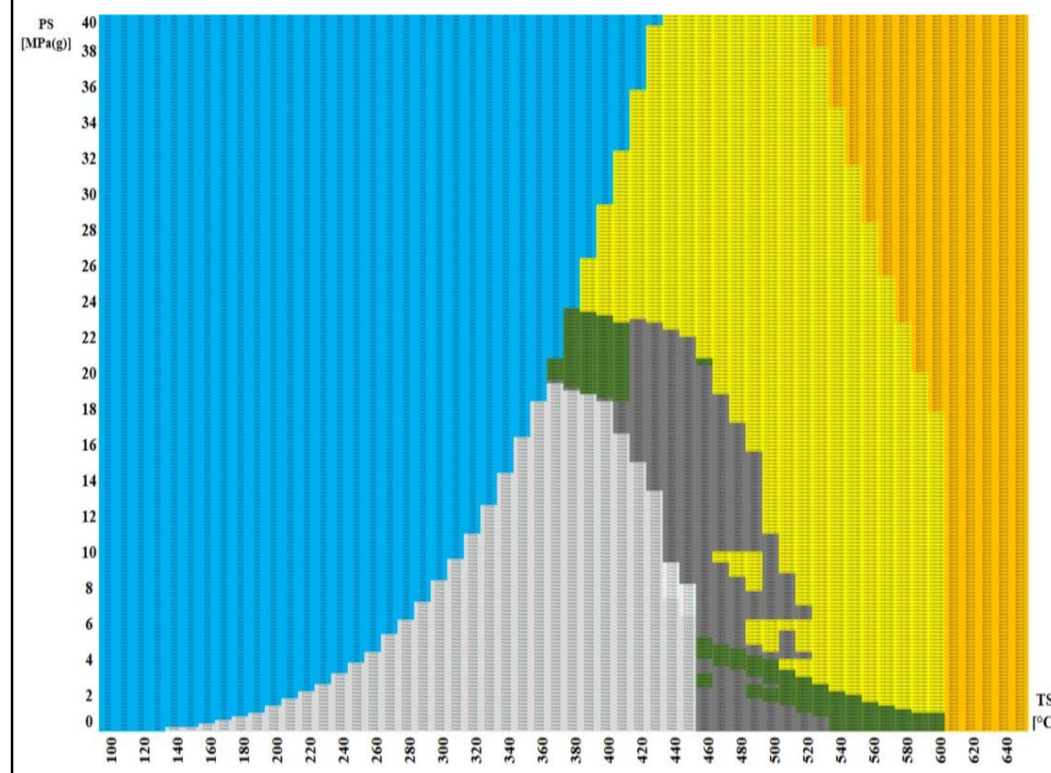
**DN 32**



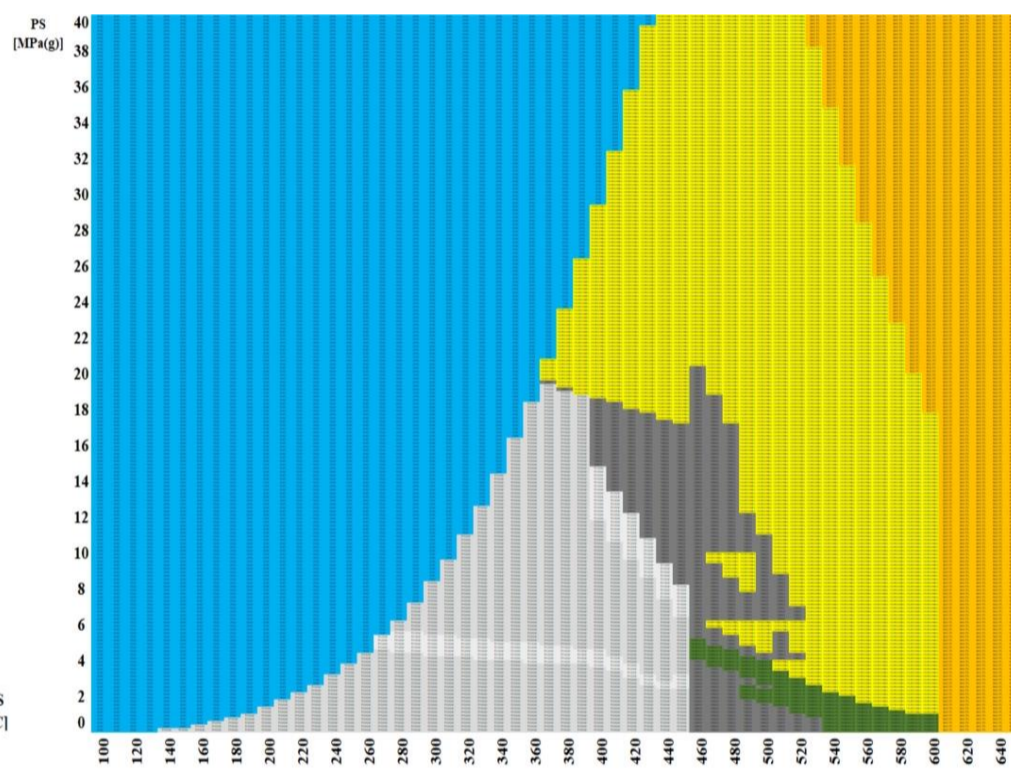
**DN 40**



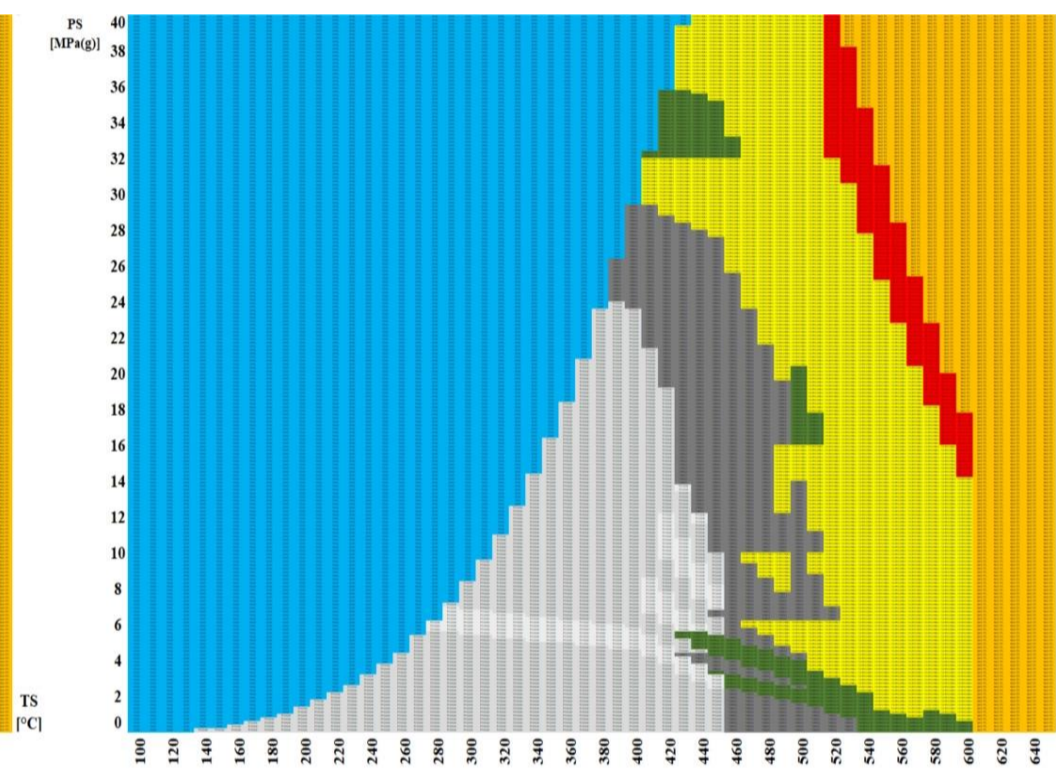
**DN 50**



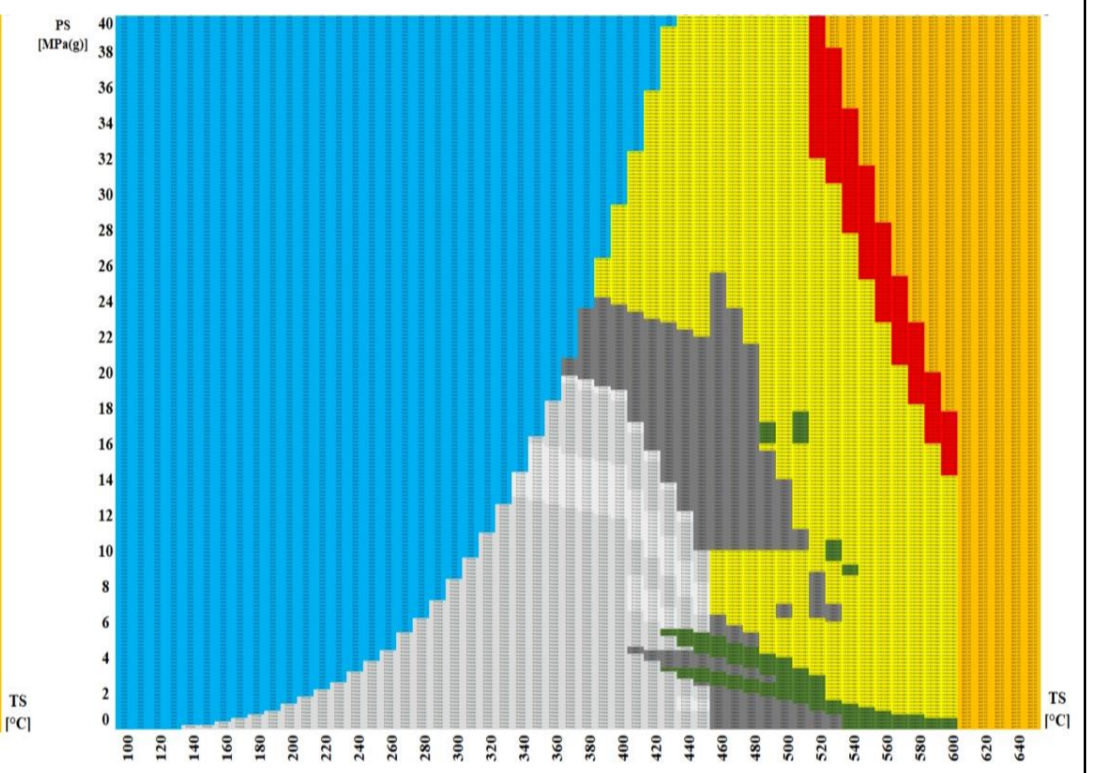
**DN 65**



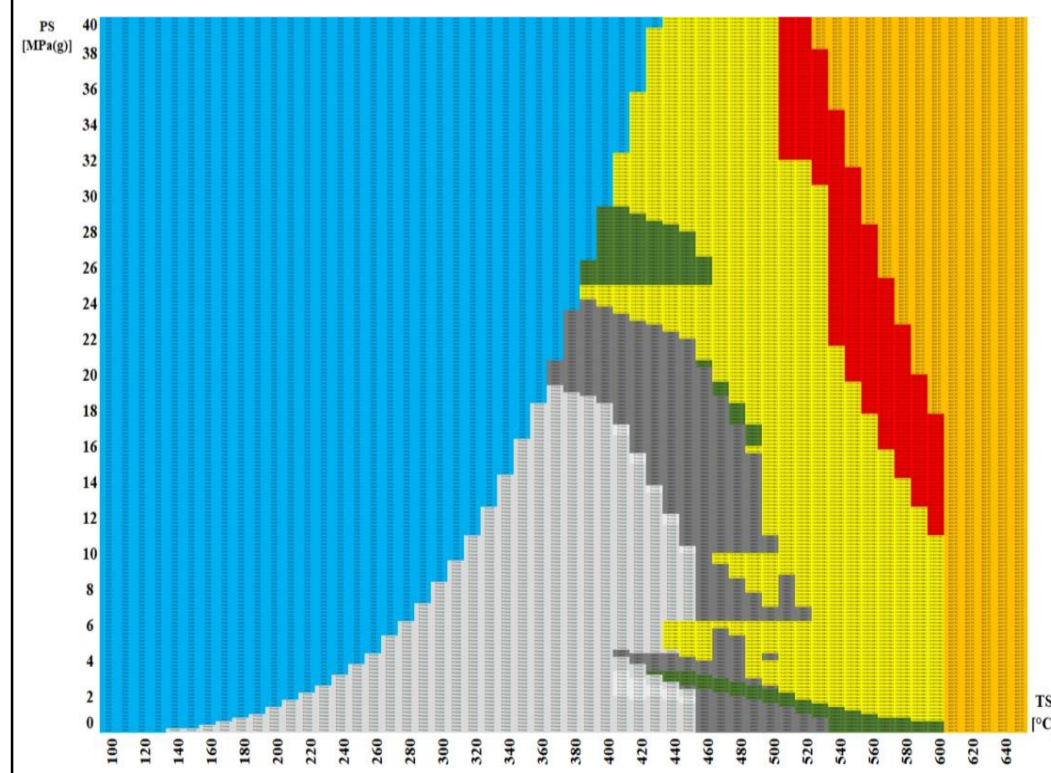
**DN 80**



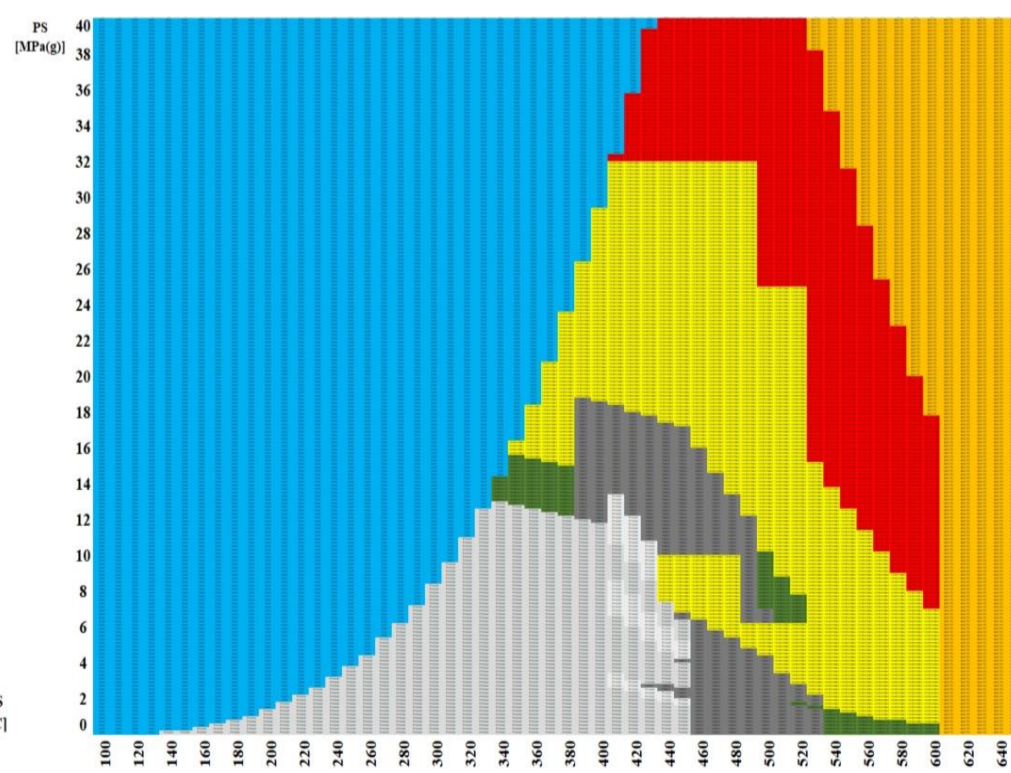
**DN 100**



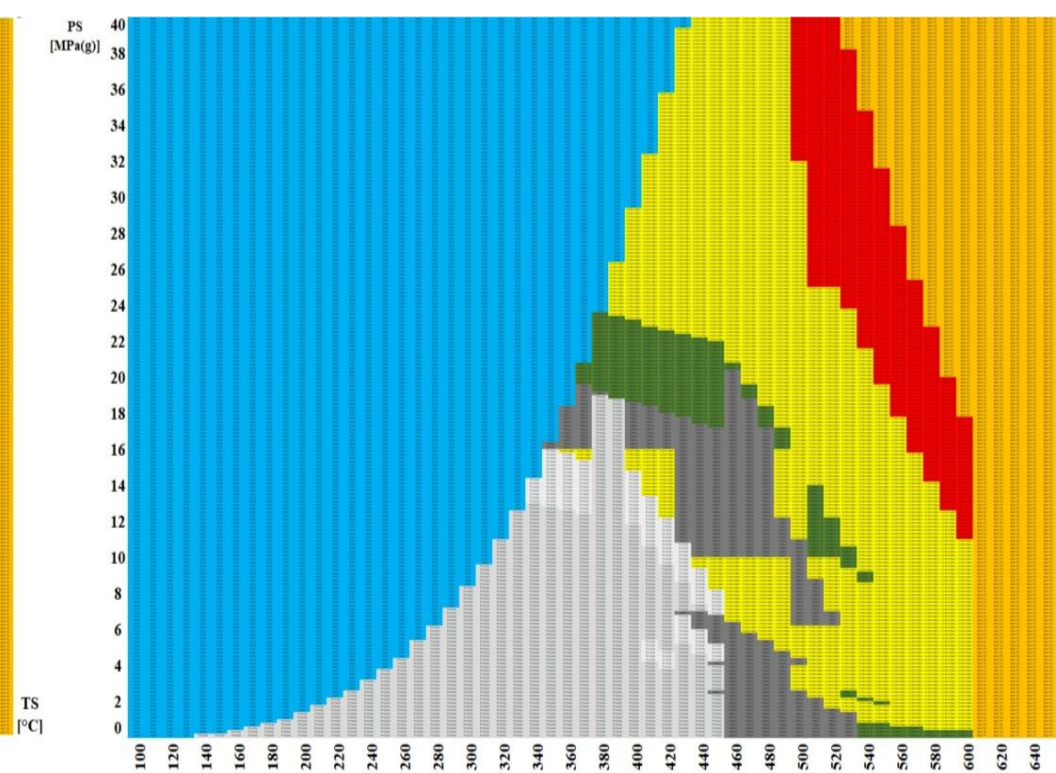
**DN 125**



**DN 150**



**DN 200**



**DN 250**

*Finančně nejvýhodnější  
materiál potrubní trasy  
složené z 30 metrů přímého  
potrubí dimenzovaných podle  
EN a 20 obvodových svarů  
provedených v západní Evropě*

**P235GH**

**16Mo3**

**10CrMo9-10**

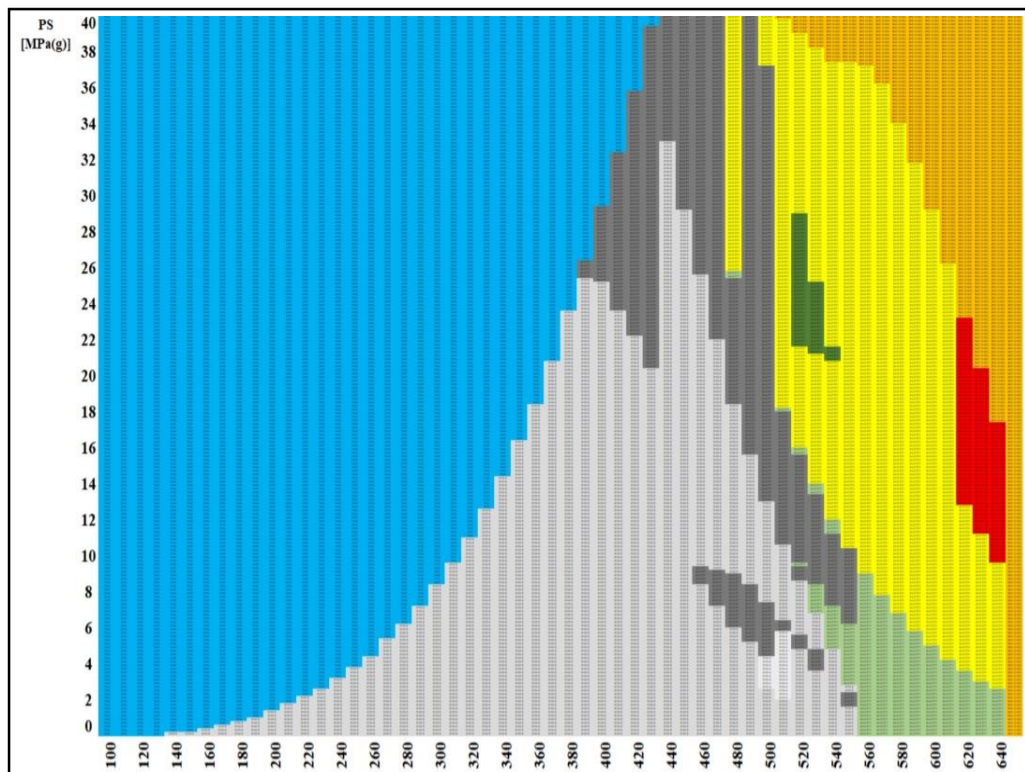
**P265GH**

**X10CrMoVNb9-1**

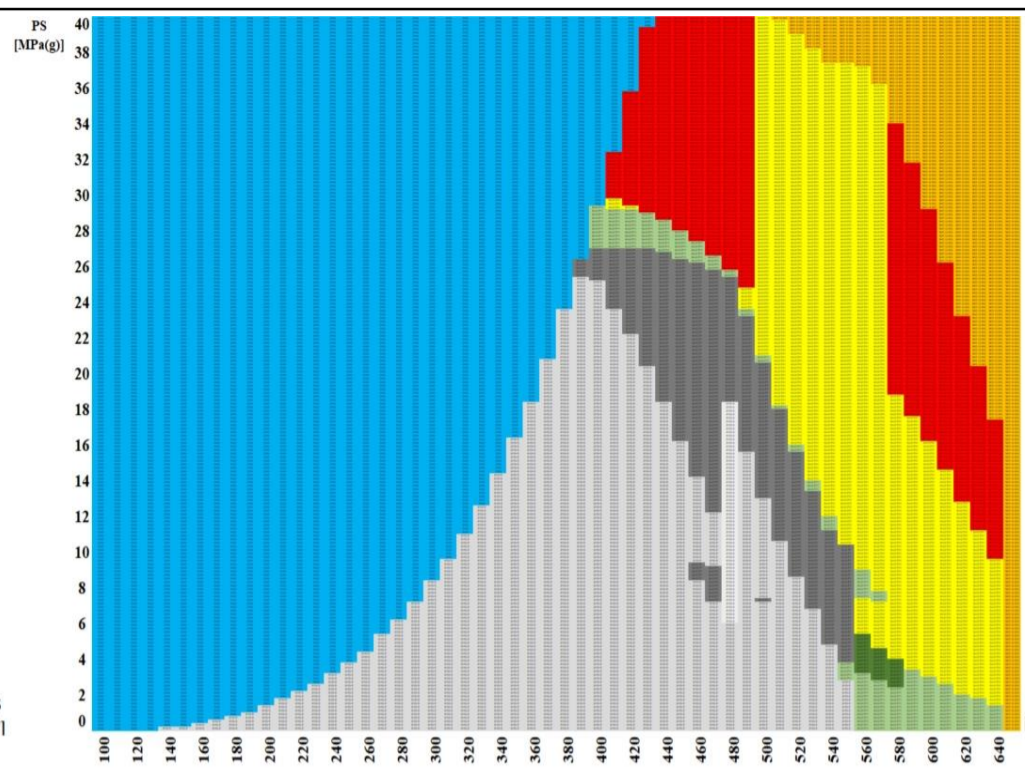
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

**Voda**

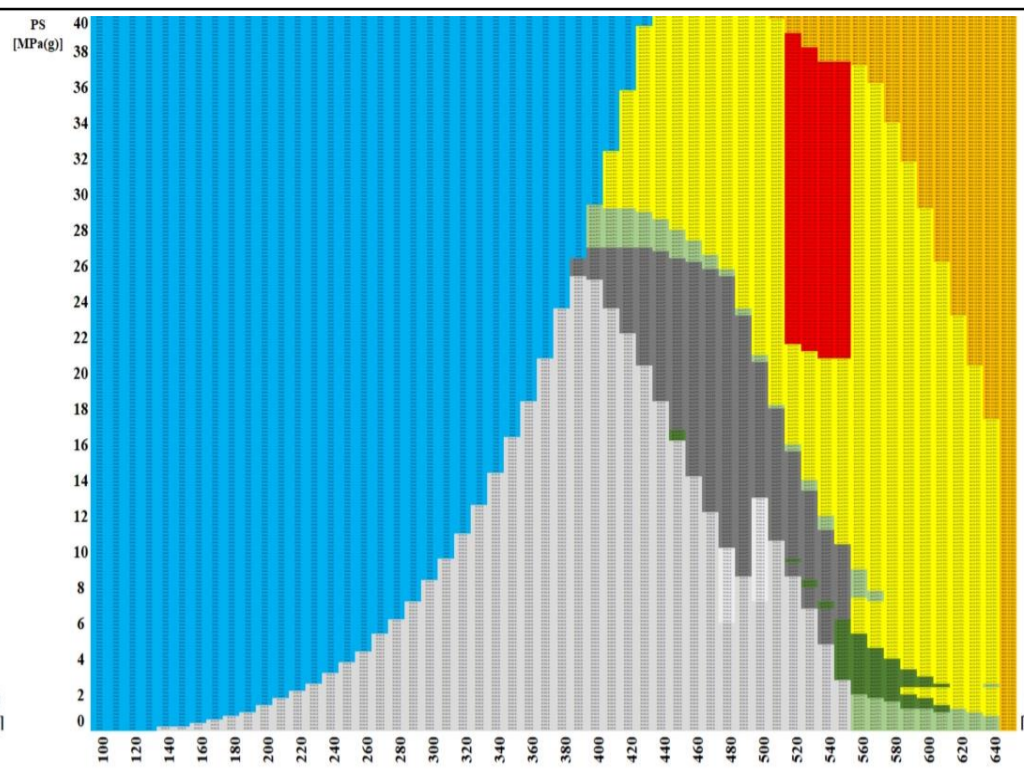
**Není definován tlakoteplotní stupeň**



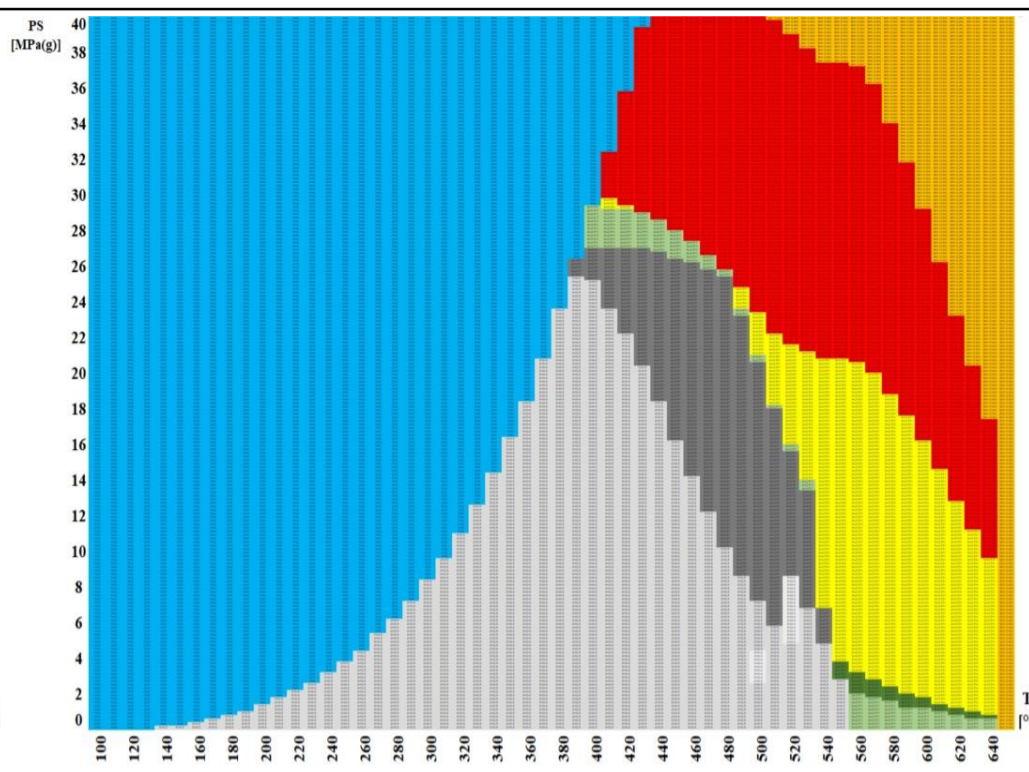
**DN 25**



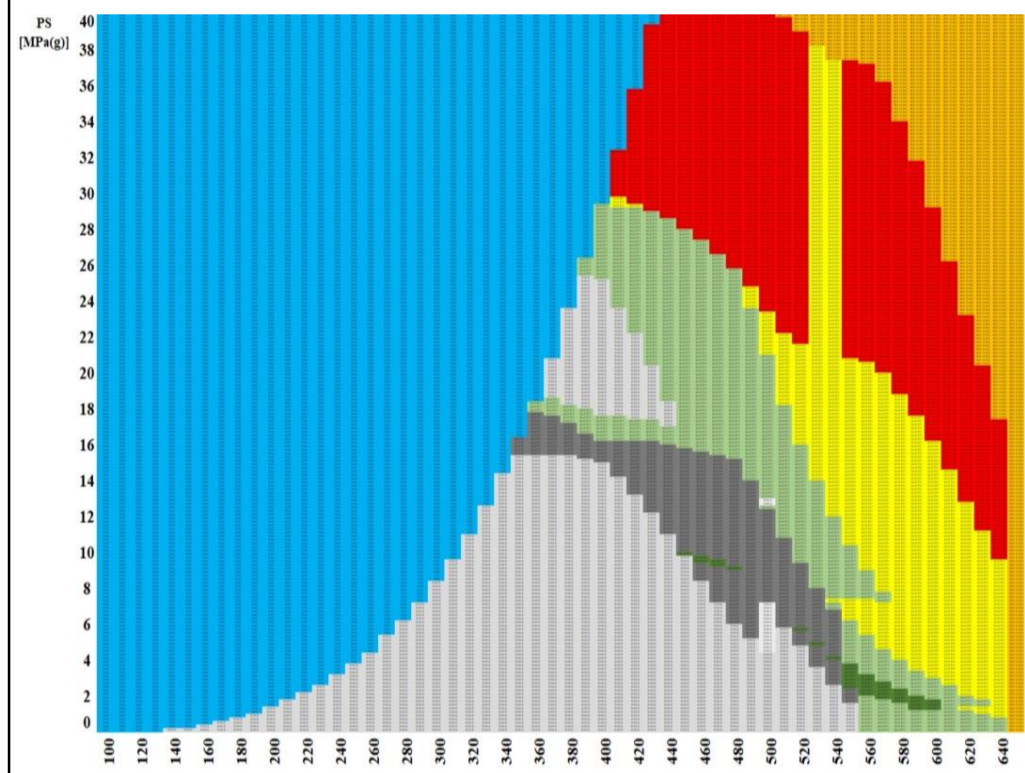
**DN 32**



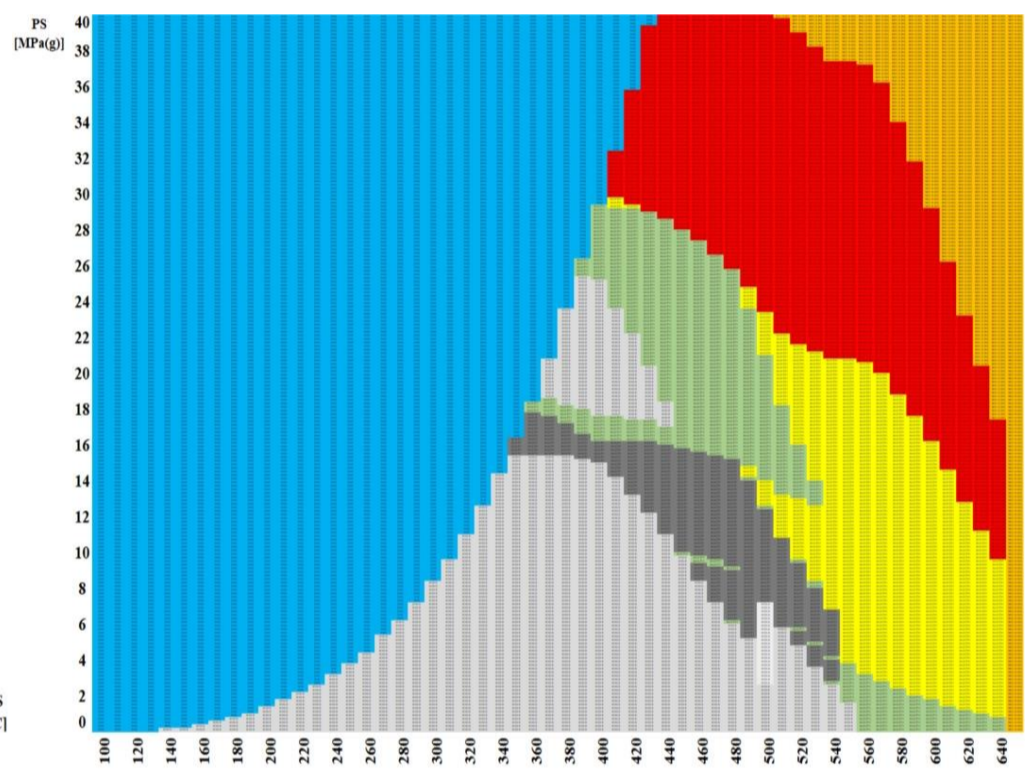
**DN 40**



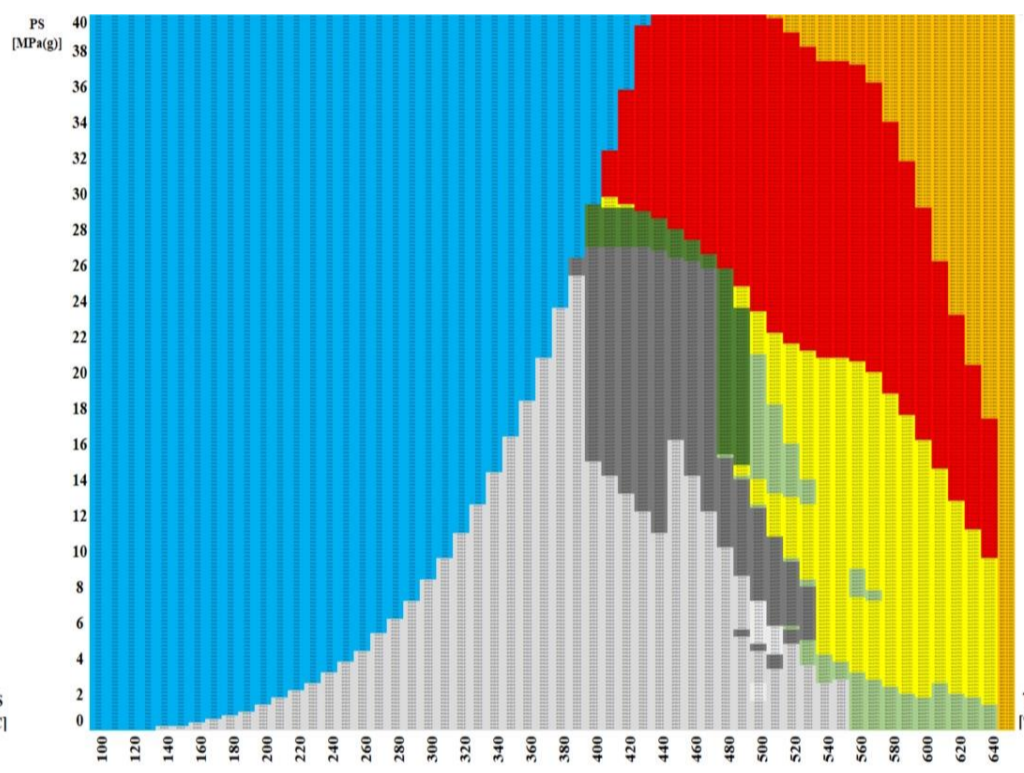
**DN 50**



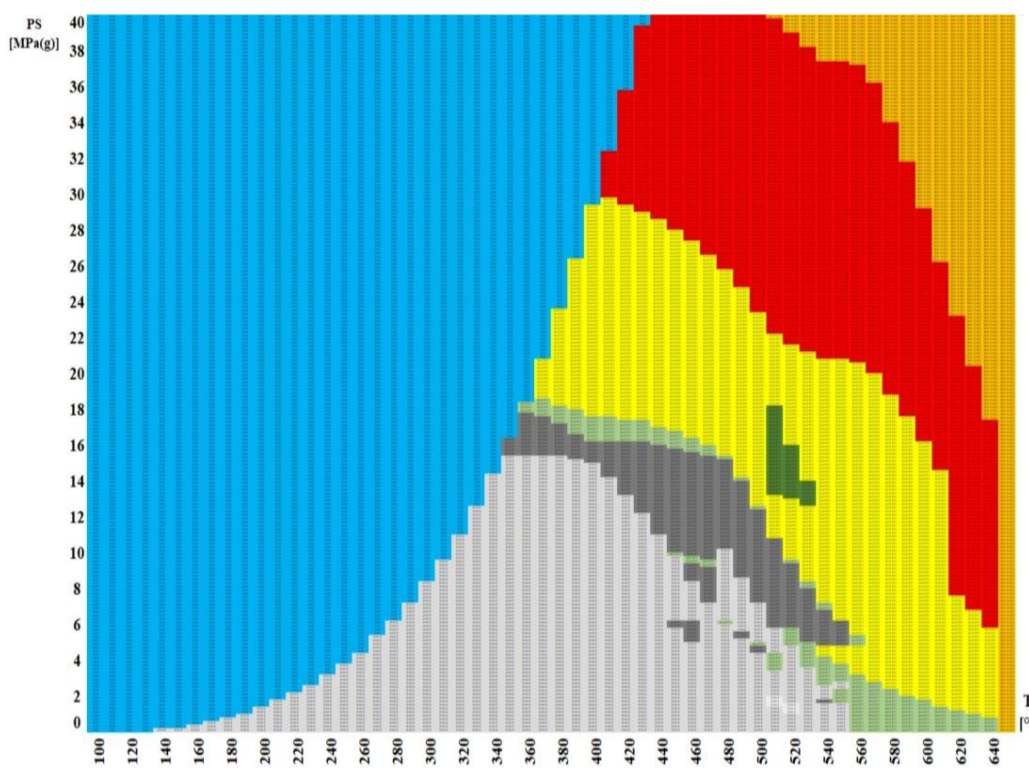
**DN 65**



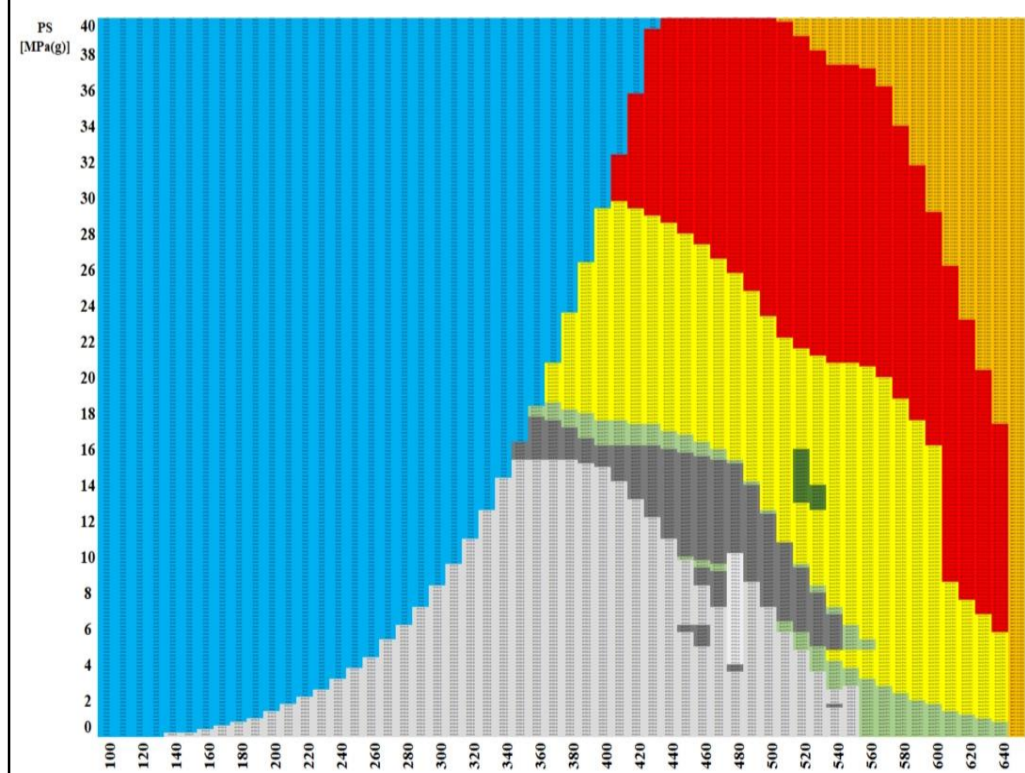
**DN 80**



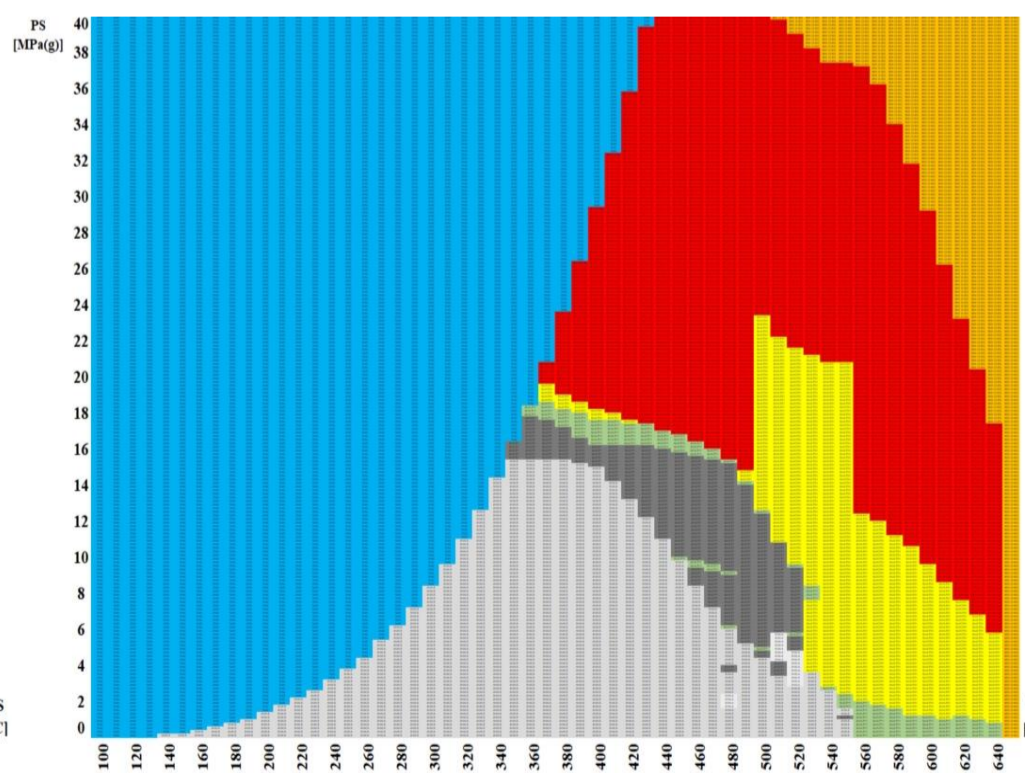
**DN 100**



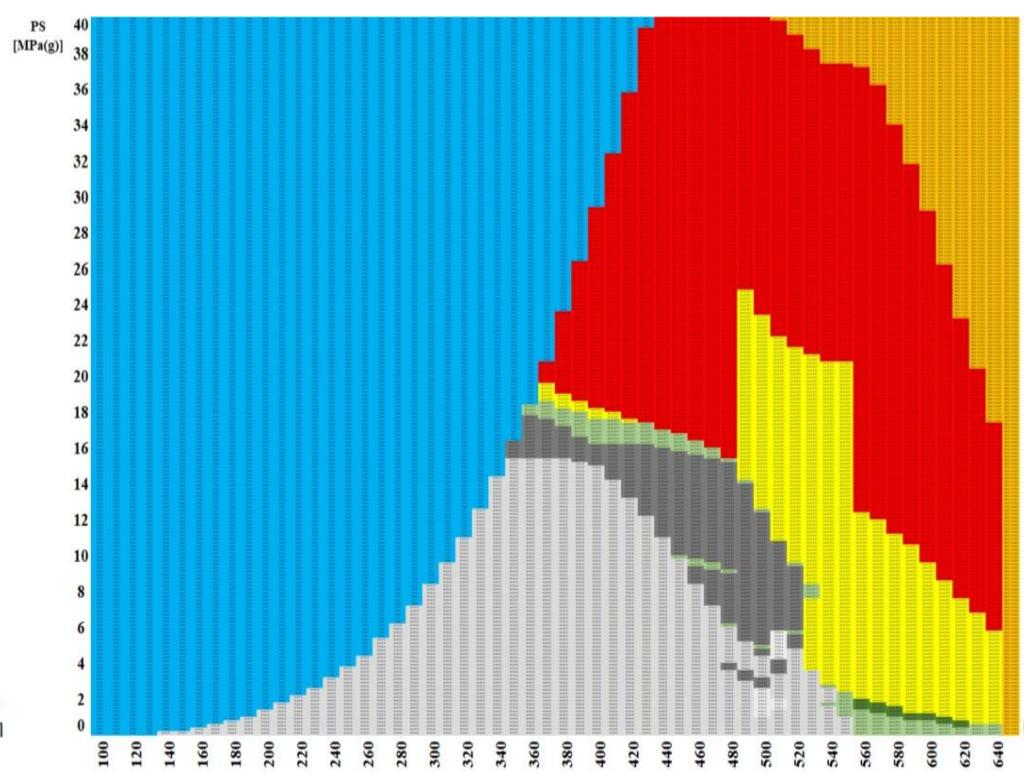
**DN 125**



**DN 150**



**DN 200**



**DN 250**

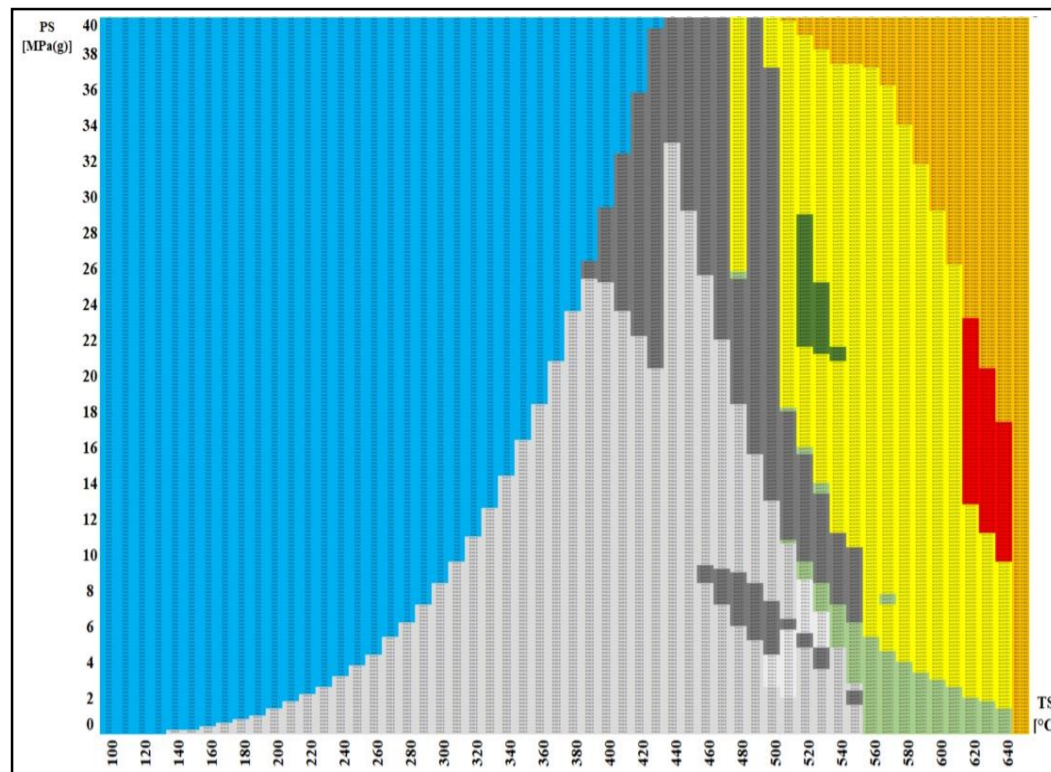
*Finančně nejvýhodnější  
materiál potrubní trasy  
složené z 30 metrů přímého  
potrubí dimenzovaných podle  
ASME a 20 obvodových svarů  
provedených v ČR*

A106-A	A335-P1	A335-P22
A106-B	A335-P11	A335-P91

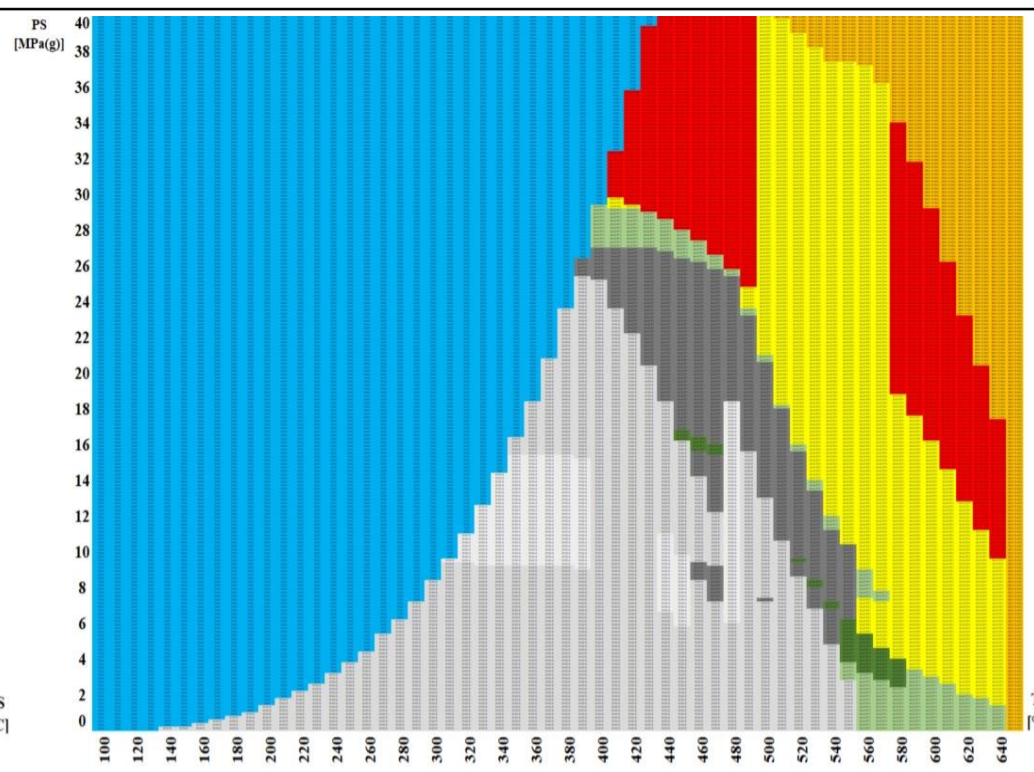
**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

Voda

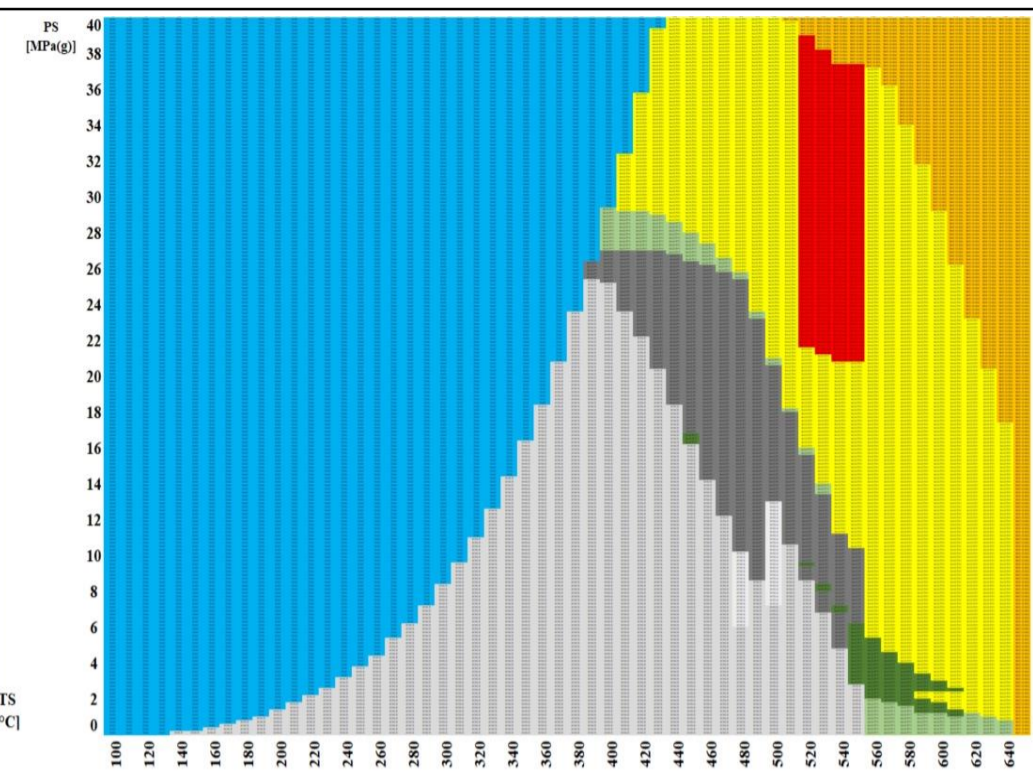
Není definován tlakoteplotní stupeň



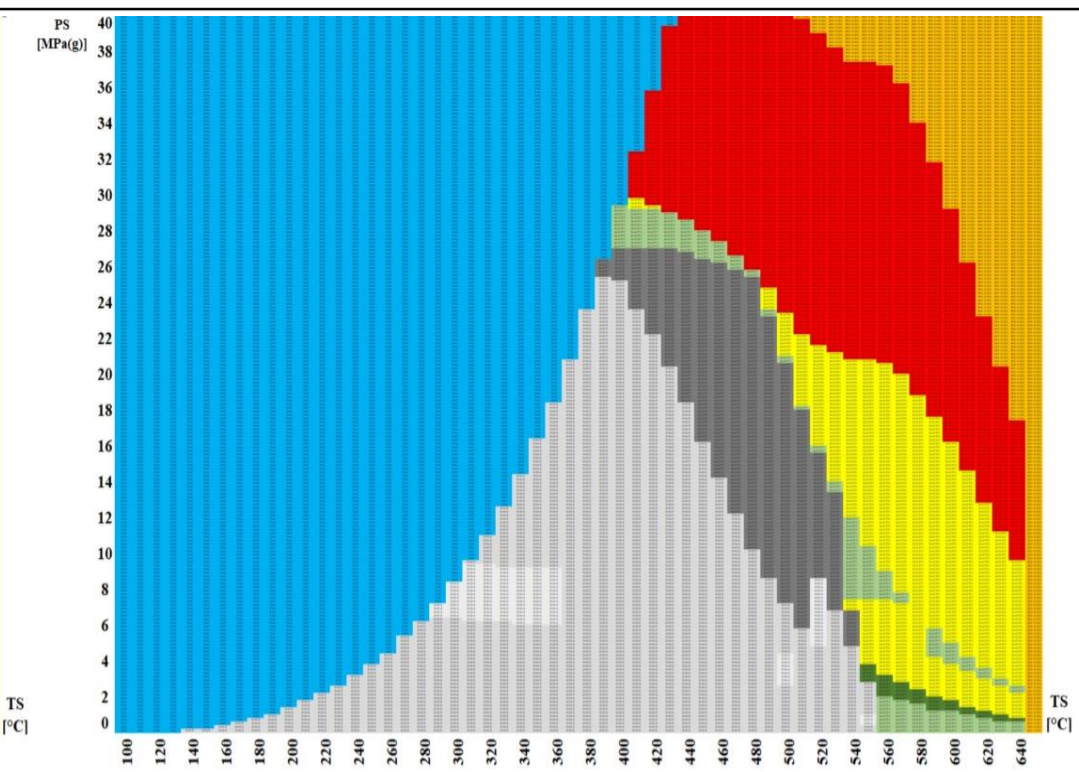
**DN 25**



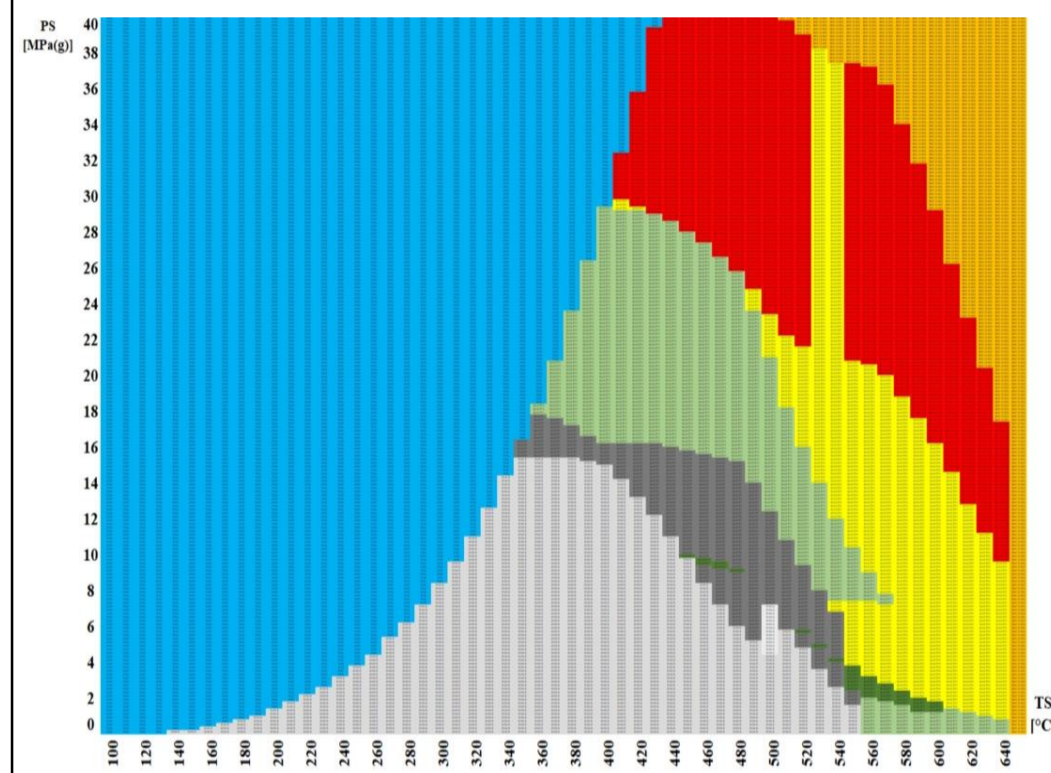
**DN 32**



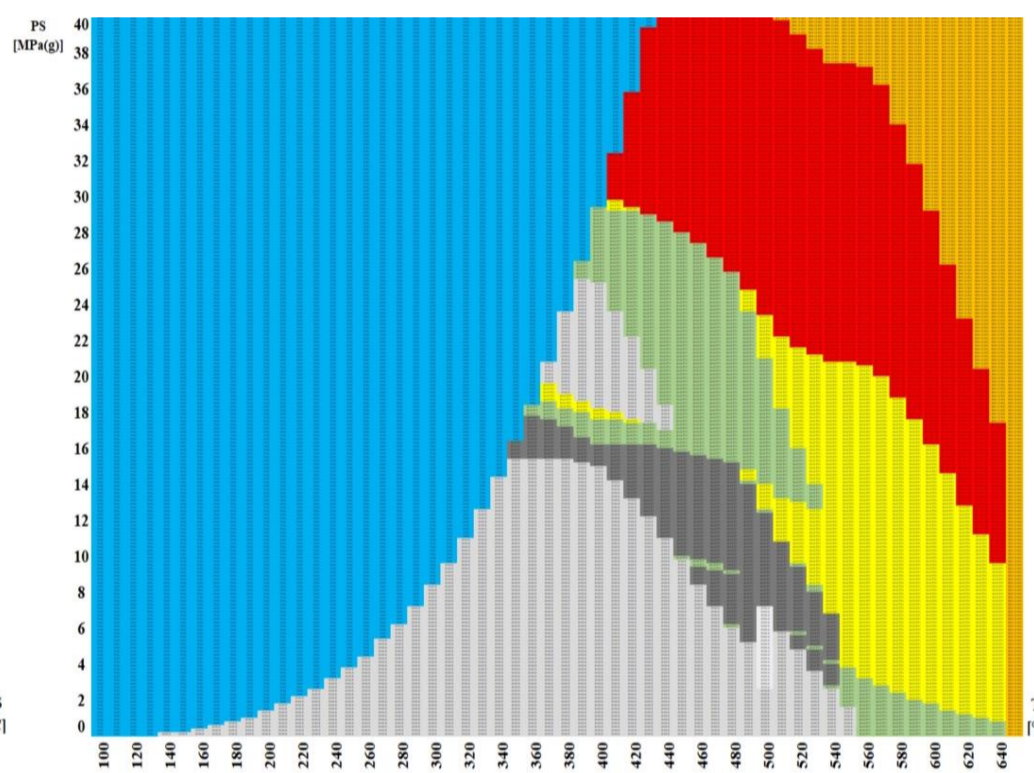
**DN 40**



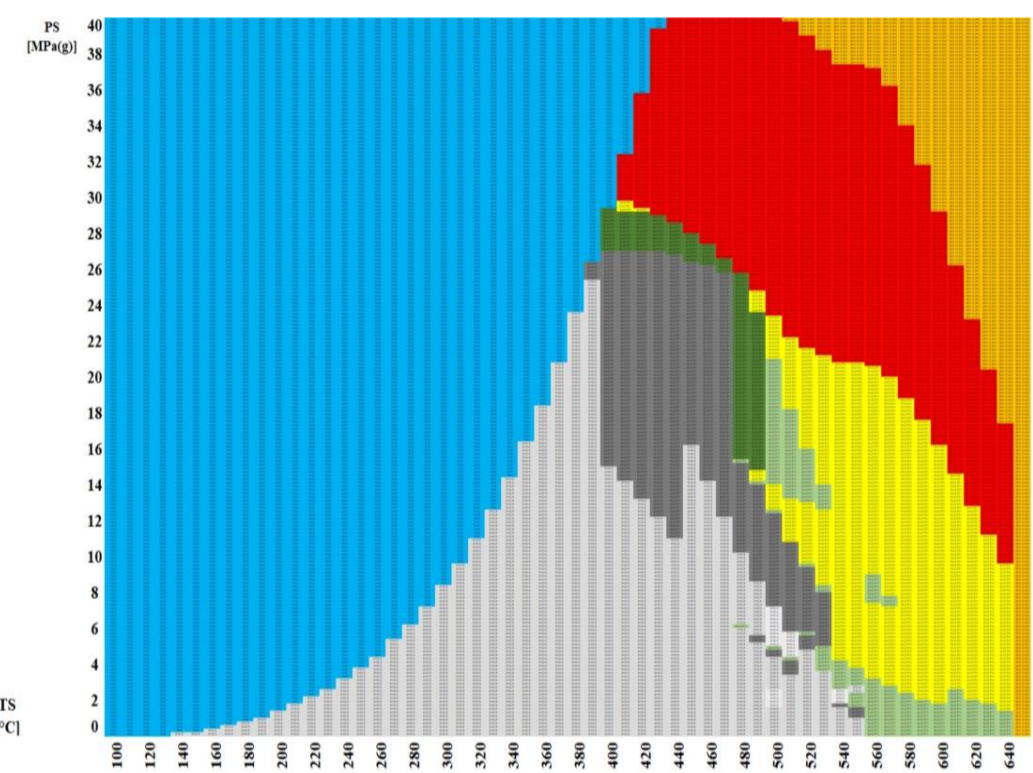
**DN 50**



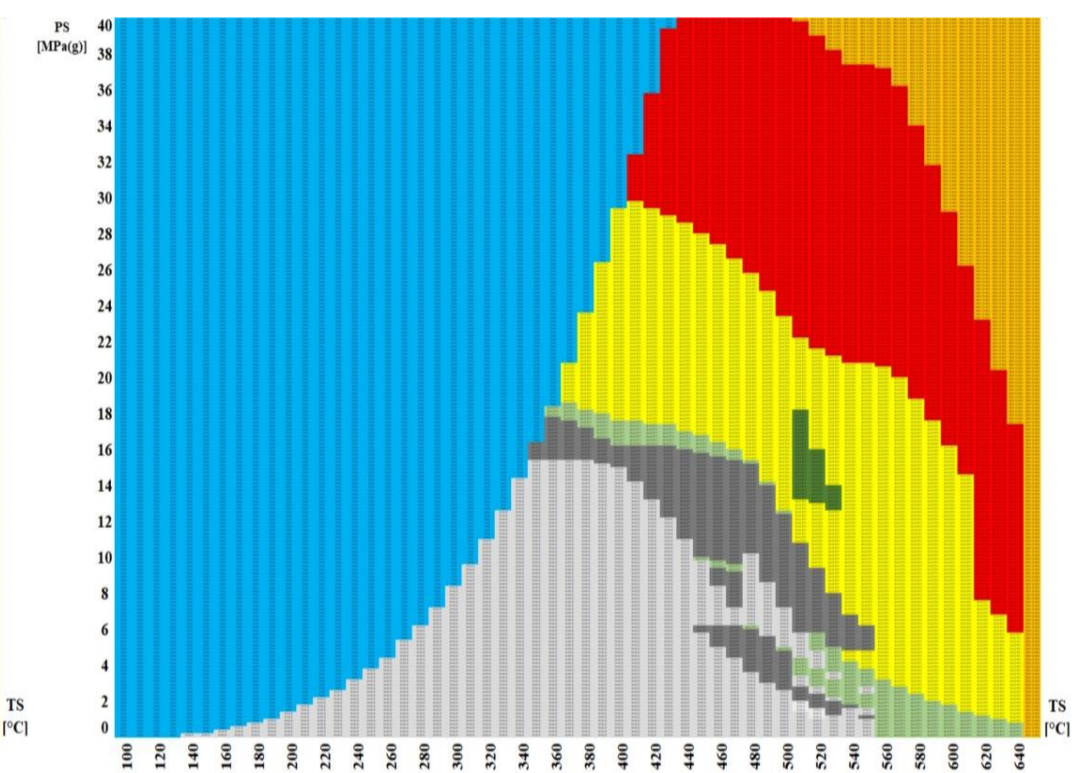
**DN 65**



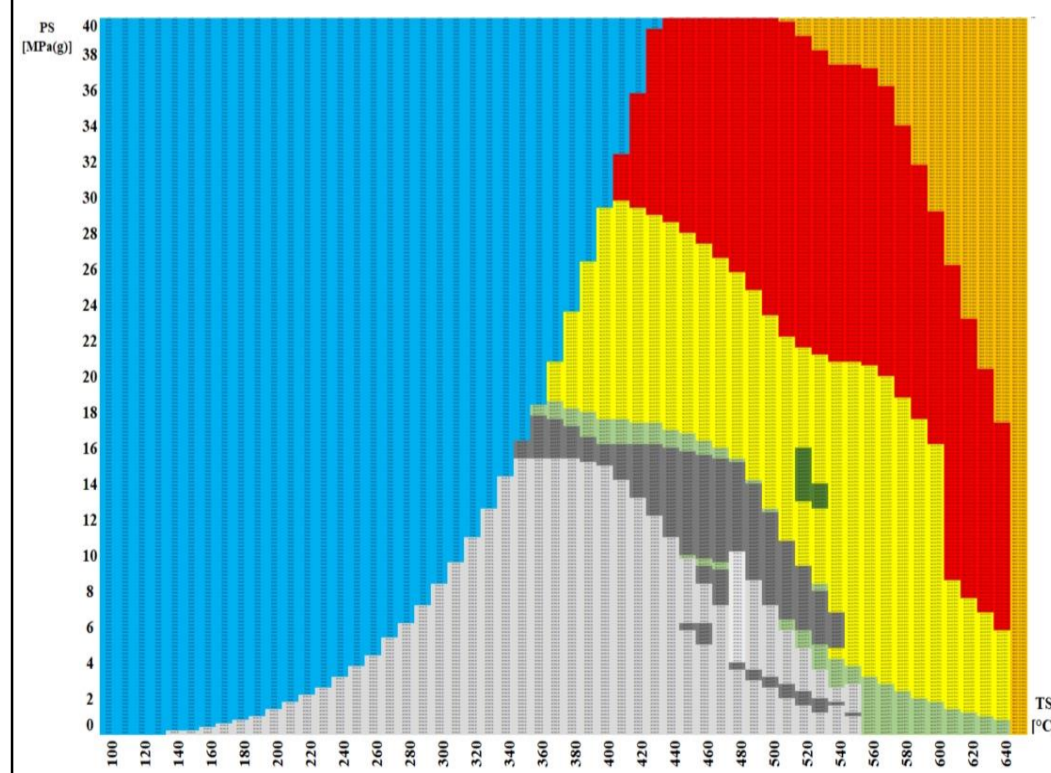
**DN 80**



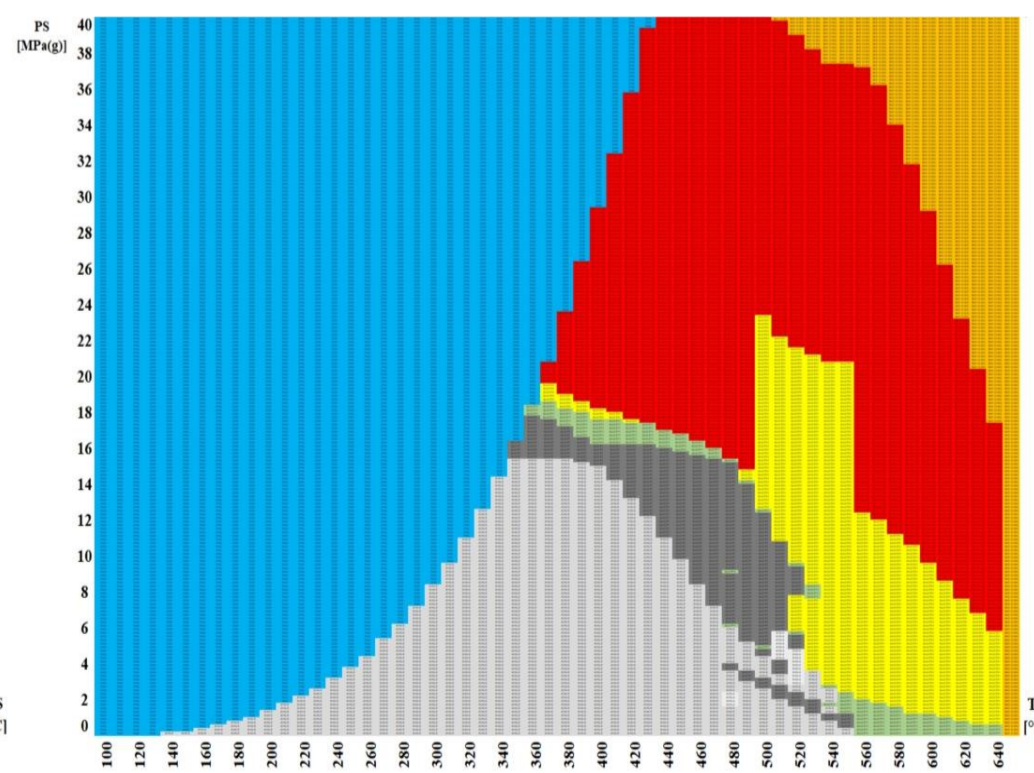
**DN 100**



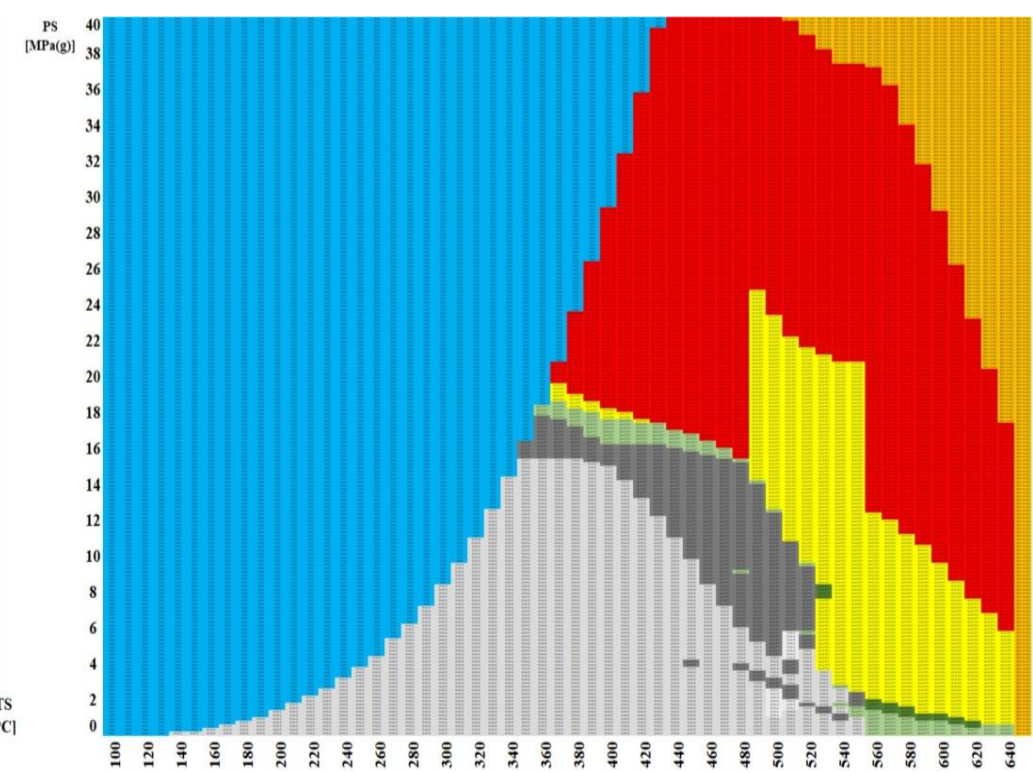
**DN 125**



**DN 150**



**DN 200**



**DN 250**

*Finančně nejvýhodnější  
materiál potrubní trasy  
složené z 30 metrů průměrného  
potrubí dimenzovaných podle  
ASME a 20 obvodových svarů  
provedených v západní Evropě*

- |        |          |          |
|--------|----------|----------|
| A106-A | A335-P1  | A335-P22 |
| A106-B | A335-P11 | A335-P91 |

**Nutná nestandardizovaná tloušťka stěny**

Voda

Není definován tlakoteplotní stupeň